



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**

**Sede Ibarra**

**ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES**

**INFORME FINAL DEL PROYECTO**

**TEMA:**

“Evaluación de contaminantes emergentes (Ibuprofeno) en el agua del río Tahuando”

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**INGENIERA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODESARROLLO**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Línea 3. Conservación de la biodiversidad

**Sub línea de investigación:**

Estudio, conservación y manejo de la biodiversidad

**AUTOR:** Ibeth Gissela Santander Guanoluisa

**ASESORA:** Mgs. Moraima Cristina Mera Aguas

IBARRA, OCTUBRE 2023



## CERTIFICACIÓN DEL ASESOR DE TESIS

Ibarra, 30 de octubre 2023

Mgs. Moraima Cristina Mera Aguas

ASESORA

### **CERTIFICA:**

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigente en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f).....

Mgs. Moraima Cristina Mera Aguas

C.C.: 1001743721



## PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

(f).....

Mgs. Moraima Cristina Mera Aguas

C.C.: 100174372-1

(f).....

Mgs. Santiago Xavier Mafla Andrade

C.C.: 1002658399

(f).....

Mgs. Diego Mejía

C.C.: 1001912961



## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo Ibeth Gissela Santander Guanoluisa, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 de Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derecho de disponer de sus derechos o autorizar de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 15 de enero 2018

f): .....


Ibeth Gissela Santander Guanoluisa

C.C.: 1004114094



## AUTORÍA

Yo, IBETH GISSELA SANTANDER GUANOLUISA, portador de la cédula de ciudadanía N° 1004114094, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

f):  .....

Ibeth Gissela Santander Guanoluiza

C.C.: 1004114094




## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, IBETH GISSELA SANTANDER GUANOLUISA, con C.C. 1004114094, autora del trabajo de grado intitulado: “EVALUACIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES (IBUPROFENO) EN EL AGUA DEL RÍO TAHUANDO” previo a la obtención del título profesional de Ingeniera en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 30 de octubre del 2023

f):  .....

IBETH GISSELA SANTANDER GUANOLUISA

C.C.: 1004114094



## **DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación de Proyecto de Titulación: “EVALUACIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES (IBUPROFENO) EN EL AGUA DEL RÍO TAHUANDO”, lo propuesto en el Código de Ética de la investigación y el aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUC E con fecha 20 de marzo de 2023

Para constancia firma:

f): ..........

Ibeth Gissela Santander Guanoluisa

C.C: 1004114094

Carrera: Ingeniería en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo

Ibarra, 21 de marzo de 2023

## DEDICATORIA

*A Dios quien ha sido fuente de fortaleza y guía en cada paso de mi carrera, a mis papitos que en silencio me han acompañado a lo largo de mi vida y sin pedirme nada a cambio hoy me regalan la alegría de ver realizado uno más de mis sueños, Gracias por su gran amor al darme vida, por proveerme de todo lo necesario y por siempre resguardarme.*

*Gracias por su apoyo moral, su cariño y comprensión a quienes, sin escatimar esfuerzo alguno, ha sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme. A quien la ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho. A quien nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo.*

*A mis hermanos Dayana, Rony y Alvarito quienes han sido fuente de inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depara un futuro mejor.*

*A mis princesas Valentina y Mía que con su alegría dan más vida a mi vida.*

*Con Gratitude y Amor a Dios y a mis Amados*

*Papitos Sonia y Fabian.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios, fuente de fortaleza y guía en cada paso de mi camino. A mis padres, mi mayor inspiración, a mis hermanos, fuente de alegrías y desafíos y con mucha Gratitude infinita a quienes, con fe y apoyo incondicional, han iluminado mi sendero y han sido pilares fundamentales en este caminar académico.*

*GRACIAS, GRACIAS, GRACIAS.*

## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR DE TESIS	ii
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS	iv
AUTORÍA	v
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN	vi
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
ÍNDICE	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	3
OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
2.3. Pregunta directriz	3
CAPÍTULO III	4
ESTADO DEL ARTE	4
	10

3.1. Contaminación de aguas superficiales y ríos	4
3.1.1. Fuentes de contaminación de aguas superficiales	4
3.1.2. Contaminantes Emergentes	6
3.1.2.1. Tipos de contaminantes emergentes	6
3.1.2.2. Productos químicos farmacéuticos	7
3.1.3. Ibuprofeno	7
3.1.3.1. Características del Ibuprofeno	8
3.1.3.2. Fuentes de contaminación por Ibuprofeno	10
3.1.3.3. Riesgos asociados al Ibuprofeno	11
3.1.4. Contaminantes emergentes detectados en el río Tahuando	12
3.2. Índice de calidad del agua (ICA)	15
3.2.1. Componentes y cálculo del ICA	16
3.2.2. Interpretación del ICA en la evaluación de la calidad del agua	17
3.2.3. Investigaciones previas del índice de calidad de agua (ICA) en el río Tahuando	19
CAPÍTULO IV	21
MATERIALES Y MÉTODOS	21
4.1. Materiales y equipos	21
4.2. Puntos de muestreo	23
4.3. Evaluación de la calidad del agua mediante análisis físico-químicos y microbiológicos.	23
4.3.1. Cálculo de índice de calidad del agua (ICA)	29
4.4. Establecimiento de las concentraciones de Ibuprofeno a lo largo del trayecto del río Tahuando	32
CAPÍTULO V	34

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
5.1. Evaluación de la calidad del agua mediante el análisis de los parámetros físico, químicos y microbiológicos del agua en el río Tahuando.	34
5.1.1. Normativa ambiental para el cumplimiento de los estándares de calidad de agua superficial	35
5.1.2. Potencial de hidrógeno	36
5.1.3. Demanda bioquímica de oxígeno	38
5.1.4. Nitratos	39
5.1.5. Sólidos disueltos totales (SDT)	40
5.1.6. Fosfatos	42
5.1.7. Temperatura	43
5.1.8. Turbidez	44
5.1.9. Oxígeno disuelto	45
5.1.10. Coliformes fecales	46
5.2. Cálculo e interpretación del índice de calidad de agua	47
5.3. Determinación de los niveles de concentración de Ibuprofeno y su comportamiento en el agua del río Tahuando.	51
CAPÍTULO VI	55
CONCLUSIONES	55
CAPÍTULO VII	56
RECOMENDACIONES	56
CAPÍTULO VIII	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
ANEXOS	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades antropogénicas como fuente de contaminación	5
Tabla 2. Características del Ibuprofeno	9
Tabla 3. Clasificación del agua de acuerdo al índice de calidad ICA	18
Tabla 4. Materiales y equipos para la fase de campo	21
Tabla 5. Equipos y reactivos para la fase de laboratorio	22
Tabla 6. Equipos de oficina y software	22
Tabla 7. Puntos de muestreo establecidos a lo largo del Río Tahuando	23
Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua	24
Tabla 9. Pesos relativos de los parámetros para el cálculo del ICA	31
Tabla 10. Parámetros de calidad de agua superficial	36
Tabla 11. Cálculo del índice de calidad del agua toma 1	48
Tabla 12. Cálculo del índice de calidad del agua toma 2	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química del Ibuprofeno	9
Figura 2. Concentraciones de diclofenaco encontradas en el río Tahuando	13
Figura 3. Presencia de paracetamol en el río Tahuando	15
Figura 4. Potenciómetro HORIBA LAQUA F-71	25
Figura 5. Equipo para detección de la demanda biológica de oxígeno	26
Figura 6. Colorímetro SMART 3	27
Figura 7. Conductímetro EXTECH	28
Figura 8. Medidor de oxígeno disuelto HANNA HL9146	29
Figura 9. Herramienta online para la determinación del ICA	31
Figura 10. Equipo HPLC JASCO LC 2000PLUS SERIES	32
Figura 11. Actividades antrópicas observadas cerca de los puntos muestreados	34
Figura 12. Mapa de ubicación de la zona de muestreo	35
Figura 13. Valores de pH obtenidos en los puntos muestreados	37
Figura 14. Valores de DBO obtenidos en los puntos muestreados	38
Figura 15. Valores de nitratos obtenidos en los puntos muestreados	40
Figura 16. Valores de SDT obtenidos en los puntos muestreados	41
Figura 17. Valores de fosfatos obtenidos en los puntos muestreados	42
Figura 18. Valores del cambio de temperatura obtenidos en los puntos muestreados	43
Figura 19. Valores de turbidez obtenidos en los puntos muestreados	44
Figura 20. Valores de oxígeno disuelto obtenidos en los puntos muestreados	45
Figura 21. Valores de Coliformes fecales obtenidos en los puntos muestreados	46
Figura 22. Mapa con los índices de calidad de agua en el tramo del río Tahuando	50

Figura 23. Concentraciones de Ibuprofeno en los puntos muestreados	52
--	----

### **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Parámetros para la determinación del ICA	62
Anexo 2. Resultado de la determinación de concentración y logaritmos	67
Anexo 3. Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma de calidad ambiental y de descargas de efluentes al recurso agua	68
Anexo 4. Análisis in situ	69
Anexo 5. Análisis en laboratorio	70
Anexo 6. Descripción de las actividades antrópicas cercanas a los puntos de muestreo	71

## RESUMEN

Los contaminantes emergentes son sustancias químicas de diversos tipos cuya persistencia ambiental tiene importantes efectos negativos sobre la ecología del medio ambiente y la salud humana a pesar de su baja concentración ambiental. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua mediante análisis de Índice de calidad (ICA), además de establecer las concentraciones de Ibuprofeno a lo largo del trayecto del río Tahuando, tomando como referencia siete puntos (Angochagua, Punhuaico, tres cascadas, cantera San José, Romerillo alto, Piedra chapetona y Tahuando punto final). La metodología empleada fue de tipo experimental, empleando una investigación descriptiva. Se llevaron a cabo dos salidas de campo durante las cuales se examinó varias muestras de agua a lo largo del curso del río, determinándose los parámetros físico-químicos y microbiológicos con el propósito de evaluar la calidad del agua, así también se efectuó un análisis de la concentración de ibuprofeno empleando una técnica de HPLC. Se determinó que el primer punto muestreado tiene una calidad de agua “buena” los posteriores cinco puntos poseen una calidad “regular” y el punto 7 punto final del Tahuando obtuvo la calificación “mala”, estos índices de calidad están relacionados directamente a las actividades antrópicas cercanas. Se determinó que existe presencia de Ibuprofeno en las muestras analizadas del punto 5 y 6 con concentraciones de 0,1079 ppm y 5,0107 ppm, la presencia de este contaminante es un marcador de contaminación antropogénica y actividad agropecuaria, estos resultados hacen énfasis en mantener un adecuado control y adoptar medidas de mitigación para mejorar la calidad del agua y reducir la presencia de contaminantes emergentes.

**Palabras clave:** Calidad de agua, Tahuando, ICA, Emergente, Ibuprofeno

## ABSTRACT

Emerging contaminants are chemicals of various types with environmental persistence that have significant negative effects on both the ecology of the environment and human health despite their low environmental concentrations. This study aimed to assess water quality through the analysis of the Water Quality Index (WQI) and to establish the concentrations of Ibuprofen along the course of the Tahuando River, using seven points as a reference (Angochagua, Punhuaico, tres cascadas, cantera San José, Romerillo alto, Piedra chapetona y Tahuando punto final). The methodology employed was experimental, using a descriptive research approach. Two field trips were conducted during which multiple water samples were examined along the river's course. Various physicochemical and microbiological parameters were determined to assess water quality. Additionally, an analysis of Ibuprofen concentration was performed using the HPLC technique. The results indicated that the first sampled point had 'good' water quality, while the subsequent five points had 'fair' water quality. The final point (point 7) at Tahuando received a 'poor' rating. These quality indices are directly related to nearby anthropogenic activities. Ibuprofen was found in the analyzed samples from points 5 and 6, with concentrations of 0.1079 ppm and 5.0107 ppm in the first sampling. The presence of this emerging contaminant serves as an indicator of anthropogenic contamination and agricultural activity. These findings underscore the importance of maintaining proper control and adopting mitigation measures to enhance water quality and reduce the presence of emerging contaminants.

**Keywords:** Water, quality, Tahuando, WQI, Emerging, Ibuprofen.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

Se espera que el crecimiento demográfico aumente un 9% entre 2012 y 2030 de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2016), lo que trae consigo problemas con el balance hídrico y consideraciones especiales tanto para la cantidad como para la calidad del agua. Cerca de 750 millones de personas no tienen acceso a servicios de agua potable o lo hacen con acceso insuficiente, según datos de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS, 2017). Se requiere además un mayor interés debido al crecimiento urbano, demográfico y económico en la gestión de los recursos hídricos urbanos. El consumo de productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, pesticidas y productos químicos de uso industrial o doméstico conocidos como contaminantes emergentes también aumenta a medida que crece la población (UNESCO, 2018).

Los contaminantes emergentes son sustancias químicas de diversos tipos cuya persistencia ambiental tiene importantes efectos negativos sobre la ecología del medio ambiente y la salud humana a pesar de su baja concentración ambiental (Garzón, 2012). Estas sustancias están omnipresentes en el medio ambiente y se han encontrado en el agua potable, las aguas subterráneas y las fuentes de suministro de agua. En la mayoría de los casos, son contaminantes no regulados, pero dependiendo de futuras investigaciones sobre sus posibles efectos en la salud y de datos de seguimiento sobre su incidencia, pueden ser candidatos a regulación (Gil y Soto, 2015). Son compuestos de los que se sabe relativamente poco en cuanto a su presencia, impacto y tratamiento, mismos que al ser empleados con mayor frecuencia y combinado con la ineficiencia de los métodos de tratamiento de aguas residuales convencionales para eliminar estos productos ha dado lugar a su degradación generalizada en medios acuáticos (Carrillo, 2019). La concentración de contaminantes emergentes en efluentes es un problema para la flora y fauna acuática y para los humanos, especialmente en aquellos lugares donde los efluentes tratados se utilizan para complementar los suministros de agua potable (Arango, 2018).

El agua tiene gran valor a nivel económico, social y ambiental y es al mismo tiempo un derecho y una responsabilidad. El agua dulce de calidad es un recurso natural cada vez más escaso, tanto en la superficie como bajo tierra. Según la Secretaría Nacional del Agua

(SENAGUA, 2016), es crucial no sólo para el desarrollo económico sino también para la supervivencia de todas las culturas del mundo. Esto es algo que todo individuo y organización debe reconocer la disminución de su calidad tiene un impacto en los ecosistemas, la salud humana y la disponibilidad de una fuente de agua limpia, por tanto, es crucial realizar investigaciones para identificar contaminantes y desarrollar técnicas de tratamiento efectivas que permitan su reutilización.

Debido a las actividades antropogénicas, la calidad del agua de los ríos del Ecuador ha ido disminuyendo constantemente con el tiempo, siendo necesario tener un monitoreo constante sobre los cuerpos de agua para poder aprovechar al máximo este recurso. Una forma de obtener información y resultados confiables del estado en la que se encuentra un cuerpo de agua es mediante la aplicación de un Índice de Calidad del Agua (ICA) (Barcelo y López, 2017), método que ha sido aprobado y adaptado en muchas investigaciones y contiene datos sobre una serie de parámetros físicos. Para determinar la calidad del agua en un lugar, período de tiempo y sección específicos, se utiliza una ecuación que combina datos físicos, químicos y microbiológicos (Díaz, 2018).

La contaminación del agua se ha evidenciado en una variedad de entornos, incluidos los domésticos, agrícolas, industriales y municipales (Ruiz, 2013). Uno de los contaminantes emergentes presente en muchas fuentes de agua es el ibuprofeno el cual es conocido por su toxicidad potencial hacia algunos organismos, como peces y mejillones, este compuesto puede interactuar con metales, contaminantes orgánicos y metabolitos en las plantas de tratamiento de aguas residuales (Arango, 2018). Debido a que los asentamientos poblacionales cercanos al río Tahuando utilizan este medicamento para uso humano, ganadero y acuícola eventualmente pueden surgir problemas, el propósito de este proyecto de investigación es establecer una base sobre los contaminantes emergentes, su presencia en el Río Tahuando y su impacto en la salud de los seres humanos y el medio ambiente.

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1. Objetivo general**

Evaluar la concentración de Ibuprofeno en el agua del río Tahuando.

#### **2.2. Objetivos específicos**

- Evaluar la calidad del agua mediante análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.
- Establecer las concentraciones de Ibuprofeno a lo largo del trayecto del río Tahuando considerando las actividades antrópicas que ejercen presión sobre este sistema hídrico.

#### **2.3. Pregunta directriz**

¿Existen concentraciones de contaminantes emergentes (Ibuprofeno) en el río Tahuando?

## **CAPÍTULO III**

### **ESTADO DEL ARTE**

#### **3.1. Contaminación de aguas superficiales y ríos**

La Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH, 2018), señala que los arroyos y ríos han sido históricamente considerados como las vías principales para el transporte de personas y bienes a lo largo de los siglos. Desde las cumbres de las montañas hasta los océanos, las personas los han empleado como medios de desplazamiento tanto para sí mismas como para sus mercancías. Lamentablemente, el ser humano también los ha utilizado como lugares de disposición final y vertido de sus residuos, una práctica que representa una seria amenaza para la calidad del agua.

La contaminación de aguas superficiales y ríos hace referencia a la introducción de sustancias químicas, biológicas o físicas nocivas en los cuerpos de agua naturales, como arroyos, ríos y lagos. Estas sustancias pueden provenir de diversas fuentes, como la agricultura, la industria, las aguas residuales urbanas y otros procesos humanos (Castro, 2016). La contaminación del agua puede tener efectos perjudiciales en la salud de los ecosistemas acuáticos, la calidad del agua potable y la salud humana. La gestión adecuada y la reducción de la contaminación son cruciales para proteger y preservar estos valiosos recursos naturales.

##### **3.1.1. Fuentes de contaminación de aguas superficiales**

La relación entre las acciones antropogénicas, es decir, las actividades humanas, y la presencia elevada de contaminantes emergentes en una cuenca fluvial puede establecerse de manera bastante clara. Los contaminantes emergentes representan compuestos químicos que generalmente no están sujetos a regulaciones en los estándares convencionales de calidad del agua y están vinculados a las actividades modernas de la humanidad. Según lo señalado por Roldán (2018), las principales fuentes de contaminación se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Actividades antropogénicas como fuente de contaminación*

<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>
<b>Agricultura</b>	El uso de pesticidas, herbicidas y fertilizantes en la agricultura es una fuente importante de contaminantes emergentes en las cuencas de los ríos.
<b>Industria</b>	Las actividades industriales, como la fabricación de productos farmacéuticos y productos químicos, pueden liberar sustancias químicas no reguladas en el medio ambiente.
<b>Tratamiento de aguas residuales</b>	Las estaciones de tratamiento de aguas residuales pueden eliminar muchos contaminantes conocidos, pero no todos los contaminantes emergentes son completamente eliminados por estos sistemas.
<b>Uso de productos de consumo</b>	El uso de productos de consumo cotidianos, como productos farmacéuticos de venta libre, productos de cuidado personal y productos de limpieza, puede dar lugar a la liberación de sustancias químicas en el agua cuando se lavan por los desagües o se desechan inadecuadamente.
<b>Descargas ilegales y vertidos accidentales</b>	En algunos casos, las actividades ilegales de vertido de productos químicos y la liberación accidental de sustancias químicas en el medio ambiente pueden ser una fuente importante de contaminantes emergentes.
<b>Urbanización</b>	El desarrollo urbano puede aumentar la carga de contaminantes emergentes en las cuencas de los ríos debido a la escorrentía de carreteras, estacionamientos y áreas urbanas que pueden llevar contaminantes como aceites, metales y productos químicos a los cuerpos de agua.

*Nota:* Tomado de *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico* por Roldán (2018) p.15

En resumen, las actividades humanas que involucran el uso y liberación de productos químicos, ya sea en la agricultura, la industria, el tratamiento de aguas residuales, el consumo de productos de consumo o prácticas ilegales, pueden contribuir al aumento de contaminantes emergentes en las cuencas de los ríos. La gestión adecuada de estos contaminantes es crucial para proteger la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos.

### **3.1.2. Contaminantes Emergentes**

Son compuestos químicos cuya propiedad distintiva es la presencia de altas tasas de eliminación y transformación. Aunque tienen una pequeña distribución y concentración en el medio, tienen el potencial de afectar negativamente tanto a la salud humana como al medio ambiente (Barcelo y López, 2017), tomando como referencia lo expresado por Gil y Soto (2015), se sabe relativamente poco en cuanto a la presencia, impacto y tratamiento de los contaminantes emergentes; en la mayoría de los casos, son contaminantes no regulados, que pueden ser candidatos a una futura regulación dependiendo de las investigaciones sobre sus potenciales efectos en la salud y los datos de seguimiento sobre su incidencia.

#### **3.1.2.1. Tipos de contaminantes emergentes**

Los contaminantes emergentes son sustancias químicas que, a diferencia de los contaminantes convencionales, no han sido ampliamente reguladas ni estudiadas en términos de sus efectos en el medio ambiente y la salud humana. Estas sustancias, en su mayoría de origen antropogénico, están presentes en el agua en concentraciones traza y pueden derivar de diversas fuentes, como productos farmacéuticos, productos químicos industriales, productos de cuidado personal y más (Arango, 2018). Dentro de este grupo de contaminantes según Yogendra y Puttaiah (2018), se encuentran:

- Productos farmacéuticos
- Productos de cuidado personal
- Pesticidas
- Productos químicos industriales
- Hormonas
- Plaguicidas y herbicidas

- Sustancias de uso industrial y comercial
- Nanopartículas
- Productos de construcción y desgaste de neumáticos

Es importante destacar que la presencia de estos contaminantes en el agua puede tener impactos ambientales y para la salud que aún están siendo investigados. La gestión adecuada de estos contaminantes emergentes es esencial para proteger la calidad del agua y preservar los ecosistemas acuáticos (Barcelo y López, 2017).

### **3.1.2.2. Productos químicos farmacéuticos**

De acuerdo con la investigación de Guardón (2019), se ha reconocido que existe un problema con la presencia de productos químicos farmacéuticos en los ambientes acuáticos. Las tres formas principales por las que los productos farmacéuticos ingresan al medio ambiente son a través de la excreción humana, la eliminación de productos no utilizados y el uso agrícola. El descubrimiento de algunos de estos fármacos, como ibuprofeno, diclofenaco, carbamazepina o ácido clofíbrico, en el agua potable ha provocado una mayor preocupación sobre estos medicamentos.

Estos productos tienen la capacidad de ingresar al ciclo del agua y, debido a que no son completamente retenidos ni eliminados durante el proceso de tratamiento de aguas residuales, es importante tener en cuenta que pueden ser liberados directamente en el ecosistema acuático. Investigaciones de Roldán (2018), han revelado que los medicamentos más ampliamente utilizados en todo el mundo incluyen analgésicos, antiinflamatorios, antimicrobianos y medicamentos contra la hipertensión.

### **3.1.3. Ibuprofeno**

El ibuprofeno es uno de los medicamentos que ha sido identificado como contaminante emergente en el agua. Este fármaco pertenece a la clase de los antiinflamatorios no esteroides (AINEs) y se utiliza comúnmente para aliviar el dolor, reducir la fiebre y combatir la inflamación (Sánchez, 2019). La presencia del ibuprofeno en el agua se debe principalmente a la excreción humana y a la eliminación inadecuada de medicamentos no utilizados.

Según Argandoña y Macías (2021), la principal fuente de contaminación de ibuprofeno en el agua es la excreción humana. Cuando las personas toman ibuprofeno y excretan el fármaco a través de la orina, una parte de este puede llegar a las aguas residuales. Además de la excreción humana, el ibuprofeno también puede ingresar al agua a través de la eliminación inadecuada de medicamentos no utilizados, algunas personas desechan medicamentos no utilizados en el inodoro o en el desagüe, lo que puede llevar a que estos contaminen el agua.

Aunque las concentraciones de ibuprofeno en el agua suelen ser bajas, Cabrera, Hernández y Gómez (2017), advierten que existen preocupaciones sobre sus efectos en la vida acuática y el potencial para el desarrollo de resistencia en ciertos microorganismos. La gestión adecuada de medicamentos y la promoción de prácticas de eliminación segura son importantes para reducir la presencia de ibuprofeno y otros contaminantes emergentes en el agua.

### 3.1.3.1. Características del Ibuprofeno

Es un fármaco que se encuentra en el grupo de los antiinflamatorios no esteroideos (AINE), derivado del ácido propiónico, presenta acciones antitérmicas es decir contra la fiebre, analgésicas que son contra el dolor y antiinflamatorias (Vásquez, 2015), el cual presenta las siguientes características, detalladas en la Tabla 2.

**Tabla 2.**

*Características del Ibuprofeno*

<b>Propiedades y características</b>	
Fórmula química	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>
Solubilidad en H <sub>2</sub> O	21mg/L (a 25°C)

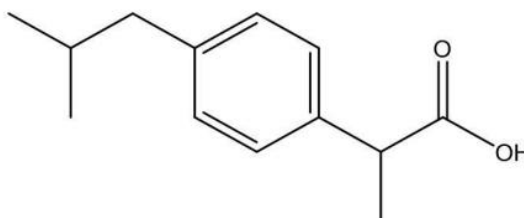
Uso común	Analgésico
Proporción excretada	90%

*Nota.* Adaptado de *Estudio de las propiedades adsorptivas de residuos lignocelulósicos para la eliminación de irgasán, ibuprofeno y amoxicilina* por Muñoz, (2021) p.18

El proceso de desarrollo e investigación del ibuprofeno tuvo lugar en la década de 1960 bajo la supervisión de Boos Group. Esta sustancia fue descubierta por Antonio Ribera Blancafort, quien desempeñó un papel fundamental en la concepción y diseño de la estructura química de esta molécula. Su trabajo marcó un hito en la comprensión de esta medicación y sentó las bases para su posterior producción y uso en la industria farmacéutica (Caho y López, 2017). La estructura propuesta por este autor se muestra en Figura 1.

**Figura 1.**

*Estructura química del Ibuprofeno*



*Nota.* Tomado de *Aplicación del índice de calidad de agua*, por Aguirre, et. al. (2016) p. 14

Posteriormente, Stewart Adams, John Nicholson, Andrew PM Dunlop y Coli Burrows, junto con Jeff Bruce Wilson, lograron sintetizar el ibuprofeno y obtuvieron su patente en el año 1961. Inicialmente, este medicamento fue concebido como una opción de tratamiento para la artritis reumatoide, primero en el Reino Unido en 1969 y luego en los Estados Unidos en 1974 (Acuña, 2016). Este desarrollo marcó un avance significativo en la disponibilidad de opciones farmacológicas para el manejo de enfermedades inflamatorias y dolorosas.

### 3.1.3.2. Fuentes de contaminación por Ibuprofeno

Se ha identificado la presencia de ibuprofeno y sus productos de degradación en diversas fuentes de agua, incluyendo efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, cuerpos de agua superficiales con concentraciones que superan 1 µg/L y en el agua de mar, según informes de Ternes (1998), Boyd et al. (2003) y Weigel et al. (2004). Sin embargo, en el contexto nacional, no se han realizado investigaciones para evaluar las concentraciones de ibuprofeno en cuerpos de agua dulce, y tampoco se dispone de información actualizada sobre el consumo de ibuprofeno en el país.

Cabrera (2017), afirma que la detección de ibuprofeno en la cuenca de un río es un indicio de la interacción compleja entre las actividades humanas, la gestión de los recursos hídricos y el medio ambiente. Estos hallazgos subrayan la importancia de abordar la gestión del agua y las aguas residuales de manera sostenible, implementar sistemas de tratamiento adecuados y promover la educación pública sobre el uso responsable de medicamentos y la protección de los recursos hídricos.

Bureau (2019), establece algunas de las actividades humanas que podrían contribuir a la presencia de ibuprofeno en la cuenca de un río:

- **Uso de medicamentos:** Las personas que consumen ibuprofeno y otros medicamentos excretan residuos de estos fármacos a través de la orina.
- **Sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales:** La falta de sistemas de alcantarillado adecuados o de plantas de tratamiento de aguas residuales eficientes puede dar como resultado la liberación directa de aguas residuales crudas o parcialmente tratadas en el río.
- **Agricultura:** El uso de aguas contaminadas en la agricultura puede contribuir a la presencia de ibuprofeno en el suelo y el agua. Si los agricultores utilizan agua de fuentes cercanas al río para el riego y esta agua contiene contaminantes farmacéuticos, es posible que los residuos de ibuprofeno se acumulen en los cultivos.
- **Descarga industrial:** Las actividades industriales pueden liberar sustancias químicas, incluidos los productos farmacéuticos, en las aguas residuales. Si las aguas industriales

se liberan en la cuenca del río sin un tratamiento adecuado, pueden contribuir a la presencia de contaminantes farmacéuticos en el agua.

- **Escorrentía urbana:** La escorrentía de áreas urbanas, como calles y aceras, puede transportar contaminantes de superficies impregnadas de productos químicos, incluidos los residuos de medicamentos que pueden contener ibuprofeno. Esta escorrentía puede llegar a los cuerpos de agua de la cuenca.
- **Uso inadecuado de medicamentos:** El uso incorrecto o excesivo de ibuprofeno y otros medicamentos por parte de la población puede aumentar la cantidad de residuos de fármacos en las aguas residuales y, por lo tanto, en la cuenca del río.

### **3.1.3.3. Riesgos asociados al Ibuprofeno**

El ibuprofeno es un medicamento ampliamente utilizado para aliviar el dolor, reducir la fiebre y combatir la inflamación, pero su presencia como contaminante emergente en el medio ambiente plantea ciertos riesgos ambientales y de salud. De acuerdo con Díaz (2018), se destacan algunos de estos riesgos:

#### **a) Riesgos ambientales:**

- **Impacto en la vida acuática:** Puede alterar el comportamiento de la vida acuática, fisiología y ciclo de vida.
- **Resistencia antimicrobiana:** puede contribuir al desarrollo de resistencia antimicrobiana en microorganismos, lo que representa una amenaza para la salud de los ecosistemas acuáticos.
- **Bioacumulación:** Algunos contaminantes emergentes, incluyendo el ibuprofeno, tienen la capacidad de bioacumularse en organismos a lo largo de la cadena alimentaria, lo que podría tener efectos negativos en la salud de los depredadores superiores.

#### **b) Riesgos para la Salud Humana:**

- **Exposición a través del agua potable:** Aunque las concentraciones de ibuprofeno en el agua potable generalmente se consideran bajas existe preocupación sobre la exposición crónica a través del consumo de agua contaminada.

- **Resistencia a medicamentos:** La presencia de residuos de ibuprofeno en el agua podría contribuir al desarrollo de resistencia a este medicamento en microorganismos.
- **Efectos desconocidos a largo plazo:** Aún se están investigando los posibles efectos a largo plazo de la exposición crónica a bajos niveles de ibuprofeno en la salud humana.

#### **3.1.4. Contaminantes emergentes detectados en el río Tahuando**

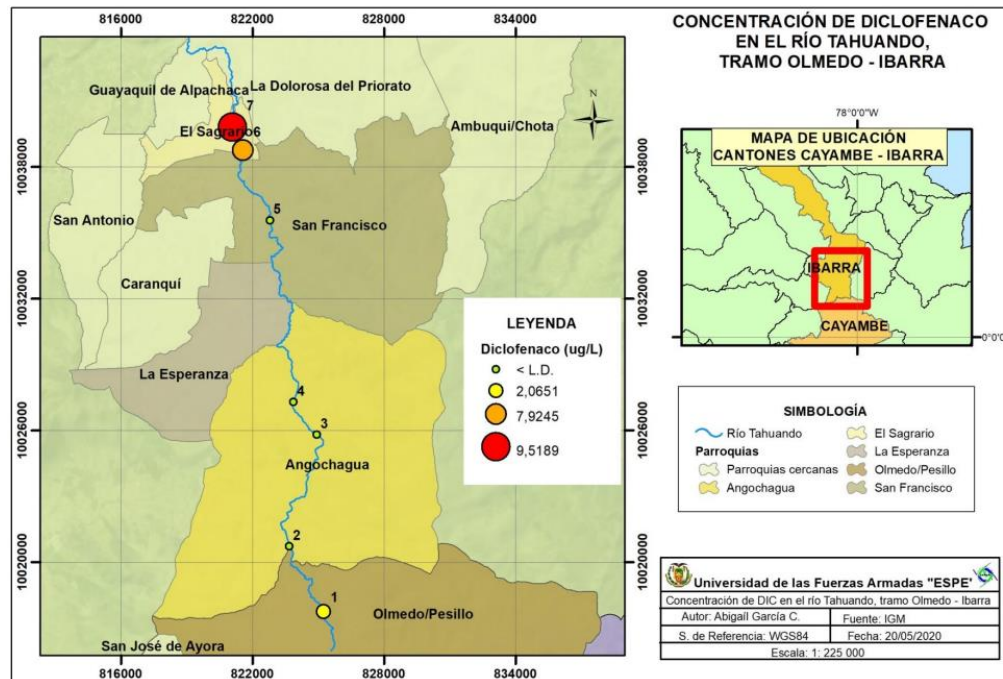
El río Tahuando, ubicado en las provincias de Pichincha e Imbabura, atraviesa varias zonas, incluyendo tres parroquias rurales con poblaciones estimadas en 2020 de 6 772 habitantes en Olmedo, 3 983 en Angochagua, y 8 988 en La Esperanza, también cruza dos parroquias urbanas, San Francisco con aproximadamente 59 992 habitantes y El Sagrario con 58 188 habitantes, según el censo del 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC, 2010). Este río tiene una longitud de alrededor de 30 kilómetros y su subcuenca abarca una superficie de aproximadamente 349 km<sup>2</sup> (García, 2020).

Según el Plan de Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de Ibarra (PDOT, 2015), se identifican asentamientos humanos situados en las orillas del río Tahuando que se encuentran en una posición de vulnerabilidad frente a amenazas tanto de origen natural como derivadas de la actividad humana. Lamentablemente, estos asentamientos no cuentan con sistemas adecuados para el tratamiento de sus aguas residuales, lo que resulta en la descarga directa de contaminantes al río, contribuyendo significativamente a la degradación de la calidad del agua.

Tomando en cuenta el estudio realizado por García (2020), se ha comprobado la existencia de dos contaminantes emergentes en un tramo del río Tahuando que se extiende desde Olmedo hasta la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Este estudio se centró en determinar las concentraciones de Carbamazepina y Diclofenaco, en dicho tramo se identificaron dos puntos específicos donde se registran concentraciones notoriamente elevadas de estos contaminantes: una concentración de 0,4529 µg/L de Carbamazepina y 9,5189 µg/L de Diclofenaco, la presencia de estos contaminantes emergentes señala claramente la influencia de la contaminación antropogénica en el río Tahuando.

**Figura 2.**

*Concentraciones de diclofenaco encontradas en el río Tahuando*



*Nota: Obtenido de Evaluación de la concentración de contaminantes emergentes en el río Tahuando, en Ibarra Ecuador por García (2020) p. 35*

En la Figura 2 se puede evidenciar que la concentración más alta de Diclofenaco se ubica en las zonas urbanas de la ciudad, esta contaminación se debe en gran medida, al uso de estos compuestos en la práctica veterinaria, así como a las descargas de aguas residuales provenientes de las comunidades cercanas a esta cuenca hidrográfica. La presencia de Carbamazepina y diclofenaco según García (2020), es una preocupación importante, ya que estos compuestos son indicadores claros de la influencia humana en el ecosistema acuático. Estos resultados enfatizan la necesidad de tomar medidas para controlar y mitigar la liberación de contaminantes emergentes en cuerpos de agua como el río Tahuando, con el fin de preservar la calidad del agua y la salud de los ecosistemas asociados.

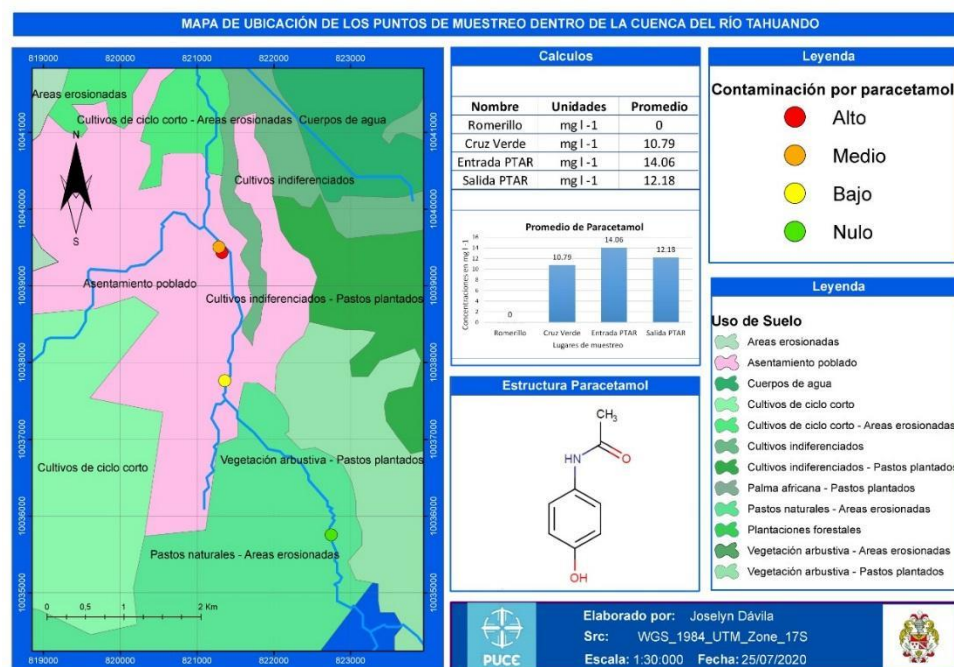
De manera similar, el estudio llevado a cabo por Dávila (2020), determinó la presencia de Paracetamol en las muestras de agua recolectadas a lo largo de la orilla del río Tahuando,

este estudio reveló que la concentración más elevada de este fármaco se encontraba en el punto de entrada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), registrando un total de 17,89 mg/L. En contraste, el punto de salida de la PTAR presentó una concentración ligeramente menor de 15,23 mg/L (Figura 3). Estos resultados hacen énfasis de la limitación de las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales en la eliminación completa de contaminantes emergentes.

Estas investigaciones resaltan la importancia del desconocimiento acerca del comportamiento y la biodegradabilidad de dichos contaminantes, lo que representa uno de los principales obstáculos en la eficacia del tratamiento, ya que no se aborda de manera específica su eliminación, a pesar de los esfuerzos, estos contaminantes aún prevalecen en el agua tratada, lo que plantea la necesidad de una mayor comprensión y desarrollo de estrategias de tratamiento más efectivas.

**Figura 3.**

*Presencia de paracetamol en el río Tahuando*



*Nota: Obtenido de Evaluación de la presencia de paracetamol y su impacto en el agua del río Tahuando previo y posterior al tratamiento de la PETAR de Ibarra mediante la técnica de HPLC por Dávila (2020) p. 36*

### **3.2. Índice de calidad del agua (ICA)**

El índice de calidad de agua (ICA) se presenta como una herramienta valiosa para evaluar de manera rápida y concisa la calidad del agua en un cuerpo de agua, sin importar su futuro propósito. Este enfoque comienza con la recopilación de muestras con el objetivo de obtener una serie de parámetros e indicadores clave (Caho y López, 2017). En general, el ICA incorpora datos de múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, mediante la cual se evalúa el estado de un cuerpo de agua (Yogendra y Puttaiah, 2018).

La información recopilada en forma de datos necesita ser sometida a un procesamiento y análisis. Esto implica la conversión de estos datos en valores numéricos, lo que a su vez permite generar una serie de índices, estos índices desempeñan un papel crucial al definir el estado actual de un cuerpo de agua en función de rangos de calidad. Los índices pueden categorizarse principalmente en dos tipos: fisicoquímicos, que se relacionan con las propiedades físicas y químicas del agua, y biológicos, que se basan en la presencia y el comportamiento de organismos vivos en el agua (Cifuentes y Osorio, 2015). Este enfoque se presenta como una opción valiosa para la evaluación de cuerpos de agua, lo que a su vez mejora la eficacia de los procesos relacionados con la formulación de políticas públicas y el seguimiento de impactos (Torres, et. al., 2019).

#### **3.2.1. Componentes y cálculo del ICA**

El Índice de Calidad de Agua de la Norma Técnica Sectorial de Agua Potable y Saneamiento Básico (ICA) se compone de nueve parámetros en total, de los cuales ocho son de naturaleza fisicoquímica y uno es de carácter microbiológico, tal como detallan Gonzales, Caicedo y Aguirre (2019). Estos parámetros abarcan una variedad de aspectos que son fundamentales para evaluar la calidad general del agua en un cuerpo hídrico, a continuación, se describen estos parámetros:

- pH: Este parámetro mide la acidez o alcalinidad del agua, lo que es importante para determinar si el agua es adecuada para diversos usos, incluyendo el consumo humano y la vida acuática (Seóñez, 2019).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5): La DBO5 evalúa la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para descomponer materia orgánica en el agua, es considerado como un indicador de la contaminación orgánica (Argandoña y Macías, 2021).
- Nitratos y Fosfatos: Estos compuestos químicos se relacionan con la presencia de nutrientes en el agua, que pueden estimular el crecimiento excesivo de algas y la eutrofización, se utiliza como un indicador de contaminación fecal en aguas naturales; los nitratos no son considerados tóxicos, pero si la ingesta es en grandes cantidades puede ocasionar un efecto diurético (Cabrera, 2017).
- Temperatura: Mide el grado de frío o calor del agua, los resultados obtenidos usualmente sirven como datos auxiliares para realizar otras determinaciones como es el caso de la alcalinidad, conductividad eléctrica, actividad biológica (Barros, 2020).
- Turbidez: La turbidez mide la claridad del agua y se relaciona con la presencia de partículas en suspensión, lo que puede afectar la vida acuática y la calidad del agua potable (Arango, 2018). La turbidez es un factor ambiental a los ecosistemas acuáticos ya que la actividad fotosintética depende del grado de penetración de la luz solar (Argandoña y Macías, 2021).
- Sólidos Disueltos Totales: Este parámetro evalúa la cantidad de sólidos disueltos en el agua, lo que puede influir en su sabor y calidad (Toasa, 2019).
- Oxígeno Disuelto: El oxígeno disuelto es esencial para la vida acuática, ya que los organismos acuáticos lo utilizan para respirar. Este parámetro es uno de los más importantes para evaluar la calidad del agua. La fuente principal de oxígeno es el aire, el mismo que se difunde rápidamente en el agua ocasionada por la turbulencia que se presenta en un cuerpo de agua (Roldán, 2018).
- Coliformes Fecales: Los coliformes fecales son microorganismos indicadores de la presencia de contaminación fecal en el agua, lo que puede ser un riesgo para la salud humana (Carrillo y Lozano, 2018).

De acuerdo con Barcelo y López (2017) el cálculo del ICA implica una evaluación de estos parámetros y su comparación con valores de referencia establecidos, lo que permite determinar la calidad general del agua en función de estos indicadores clave, cada parámetro contribuye de manera diferente a la puntuación final del ICA y, en conjunto, ofrecen una visión integral de la calidad del agua.




### 3.2.2. Interpretación del ICA en la evaluación de la calidad del agua

El Índice de Calidad de Agua (ICA) se representa mediante un valor numérico, un código de color y una descripción que proporciona una evaluación rápida de la calidad del agua. En el contexto del ICA, que sigue la clasificación propuesta por Brown, se establecen cinco categorías para la calidad del agua. El valor del ICA varía en un rango que va desde una calidad de agua muy deficiente, con un valor del 0%, hasta una calidad de agua excepcional, que alcanza un valor del 100%, tal como se menciona en el estudio de Castro (2016).

Esta clasificación en categorías facilita la interpretación de los resultados del ICA y permite a las autoridades y los profesionales involucrados en la gestión del agua tomar decisiones informadas sobre la calidad del agua y las acciones necesarias para mejorarla. Un ICA más alto indica una mejor calidad del agua y viceversa. Esta herramienta es esencial para monitorear y gestionar la calidad del agua en cuerpos hídricos, lo que es crucial para garantizar un suministro de agua seguro y sostenible, así como para proteger los ecosistemas acuáticos (Barcelo y López, 2017).

**Tabla 3.**

*Clasificación del agua de acuerdo al índice de calidad ICA*

Clase	Calidad del agua	Color	Valor
I	Excelente		91 a 100
II	Buena		71 a 90
III	Regular		51 a 70
IV	Mala		26 a 50
V	Pésima		0 a 25

*Nota:* Rangos de clasificación del agua de acuerdo al índice de calidad. Obtenido de González et al., 2019. p 35.

Gonzales, et. al., (2019) determinan la clasificación del agua, como se muestra en la Tabla 3, afirmando que las aguas con un Índice de Calidad de Agua (ICA) superior a 90 suelen albergar una amplia diversidad de vida acuática y son adecuadas para una variedad de usos directos, como actividades recreativas y contacto humano. En contraste, las aguas clasificadas como "Regulares" según el ICA tienden a tener una diversidad de organismos acuáticos más limitada y a menudo experimentan un aumento en el crecimiento de algas. Cuando el ICA cae en la categoría "Mala", esto indica que el cuerpo de agua solo puede mantener una diversidad reducida de vida acuática y es probable que esté enfrentando problemas de contaminación significativos. Finalmente, las aguas con un ICA catalogado como "Pésimo" son capaces de soportar solo un número limitado de formas de vida acuática y presentan problemas graves, por lo que generalmente no se consideran adecuadas para actividades que involucren contacto humano directo, como la natación. Estas categorías del ICA proporcionan una evaluación clara de la calidad del agua y son esenciales para tomar decisiones informadas sobre su uso y gestión.

### **3.2.3. Investigaciones previas del índice de calidad de agua (ICA) en el río Tahuando**

Se han llevado a cabo diversas investigaciones que han abordado la evaluación de la calidad del agua en el río Tahuando, utilizando el Índice de Calidad del Agua (ICA) como una métrica para medir la calidad y determinar la influencia directa de las actividades humanas en este recurso hídrico. De acuerdo con las observaciones realizadas por Castro (2016), se ha constatado que los valores del ICA, experimentan una disminución significativa a medida que el curso del río atraviesa áreas urbanas. Esta disminución culmina en un valor mínimo de 54 en el índice ICA, el cual es considerado como "regular". Es interesante destacar que este valor mínimo se registra en el punto donde confluyen dos fuentes importantes de descarga de aguas residuales provenientes del sistema de alcantarillado municipal.

Rosero (2021), en su investigación titulada "Estudio físico-químico de la calidad del agua del río Tahuando mediante el cálculo del índice ICA" realiza una comparación entre los índices de calidad del agua obtenidos en su estudio y los de Castro (2016), quien realizó una

investigación similar. Esta comparativa revela una variación significativa en los valores de los índices, que se sitúan en un amplio rango, oscilando entre 47,8 y 68,80.

Un aspecto destacado de los resultados es el punto de muestreo denominado Puente Rojo, que sobresale como el único que obtiene una calificación de "MALA". Esto implica que se hace necesario implementar un tratamiento de saneamiento con urgencia para garantizar que el agua en ese sitio sea segura y adecuada para su uso. Por otro lado, los otros cuatro puntos de muestreo, a saber, 17 de Julio, Tahuando final, Guayabillas y Romerillo, obtienen una calificación de "regular" en lo que respecta a la calidad del agua. Esta calificación señala que el agua en estos lugares no es apta para el consumo humano ni para actividades recreativas sin una adecuada purificación. Estos hallazgos indican de manera concluyente el impacto adverso de las actividades humanas, particularmente la descarga de aguas residuales, en la calidad del agua del río Tahuando. La disminución del ICA a medida que el río atraviesa zonas urbanas resalta la necesidad urgente de abordar la gestión adecuada de aguas residuales y la implementación de medidas de conservación para proteger este recurso vital y garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

Por otro lado, Portilla (2016) llevó a cabo una investigación titulada "Desarrollo sustentable turístico y ambiental, el caso del río Tahuando en su tramo urbano para conocer el estado de conservación del entorno". En su metodología, se empleó un enfoque analítico sintético junto con la técnica de observación in situ para recopilar información sobre los problemas ambientales presentes en el recorrido del río. Como resultado, se identificaron 18 lugares donde se observaron desechos sólidos en las laderas circundantes y se señalaron 13 puntos de descarga de aguas servidas.

Estos dos estudios, realizados en diferentes años, proporcionan evidencia sólida de un deterioro continuo en la calidad del agua del río Tahuando, así como de la presencia de problemas ambientales, como la acumulación de desechos sólidos y descargas de aguas residuales, que requieren una atención urgente y medidas de conservación para preservar el entorno natural y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de esta importante fuente de agua.

## CAPÍTULO IV

### MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en dos fases, una realizada en campo y la otra en laboratorio, los materiales de campo, laboratorio y software son especificados a continuación.

#### 4.1. Materiales y equipos

**Tabla 4.**

*Materiales y equipos para la fase de campo*

<b>Materiales campo</b>	<b>Equipos análisis campo</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Mascarilla</li><li>- Botas de agua</li><li>- Guantes de caucho</li><li>- Frascos de plástico</li><li>-Libreta</li><li>- Etiquetas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Potenciómetro EXTECH EXJ-PH100. Rango 0,0 a 14,0 <math>\pm</math> 0,005</li><li>- Conductímetro EXTECH EC400. Rango 0 a 19,99mS <math>\pm</math> 2%</li><li>- Medidor de oxígeno disuelto YSI pro 20 series. Rango 0.00 a 45.00 mg/L <math>\pm</math> 1.5% F.S.</li><li>- Colorímetro LAMOTTE SMART3 Rango 0-125% T <math>\pm</math>2% FS</li></ul>

**Tabla 5.***Equipos y reactivos para la fase de laboratorio*

<b>Equipos de laboratorio</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Equipo HPLC JASCO LC 2000PLUS SERIES. Rango longitud de onda: 190 a 600 nm</li><li>- Balanza analítica marca ADAM modelo PGL 4001</li><li>- Estufa marca VWR modelo 1305U</li><li>- Respirómetro para DBO5</li><li>- Incubadora de DBO Velp Scientifica</li><li>- Contador de colonias SC6 Plus</li></ul>	<p>Diclofenaco</p> <p>Petrifilm para identificación de E. Coli ref: 6404/6414/6444</p> <p>Soluciones A, B, C, D. para DBO</p>

**Tabla 6.***Equipos de oficina y software*

<b>Equipos de oficina</b>	<b>Software</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>-Computadora</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Arc GiS</li><li>- Microsoft Office 2016</li></ul>

#### 4.2. Puntos de muestreo

Se llevaron a cabo dos salidas de campo, para lo cual se tomaron muestras en 7 puntos (Tabla 7), mismos que fueron considerados en función de la actividad antrópica cercana, además son puntos que se han tomado en consideración en varias investigaciones anteriores, Castro (2016); García (2020); Dávila (2020), expresan que estos puntos son ideales para la toma de muestras debido a su accesibilidad, facilidad logística, cercanía a poblaciones y el uso del agua a lo largo del curso del río Tahuando, mismos que se describen a continuación:

**Tabla 7.**

*Puntos de muestreo establecidos a lo largo del Río Tahuando*

<b>Número</b>	<b>Nombre</b>	<b>Coordenadas Norte UTM</b>	<b>Coordenadas Este UTM</b>
1	Angochagua	824006	10027583
2	Punhuaico	823223	10029819
3	Tres Cascadas	823229	10032300
4	Cantera San José	822845	10033901
5	Romerillo alto	822743	10035756
6	Piedra Chapetona	821547	10038798
7	Tahuando Punto final	819068	10044388

#### 4.3. Evaluación de la calidad del agua mediante análisis físico-químicos y microbiológicos.

Para llevar a cabo este estudio, se procedió a tomar muestras de agua en los siete puntos anteriormente descritos en la tabla 7 a lo largo de la cuenca del río Tahuando. Luego, se llevaron a cabo exámenes físico-químicos y microbiológicos con el propósito de evaluar la calidad del agua en los sitios de interés, tomando en cuenta los parámetros establecidos por el ICA-NSF, los parámetros que se analizaron se detallan en la Tabla 8.

**Tabla 8.***Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método de referencia</b>
<b>Parámetros físicos</b>		
Demanda de Oxígeno	Bioquímica mg/L	APHA:5220 C Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)
Nitratos	mg/L	ISO 7890-2. Determinación de la concentración de nitratos.
Sólidos Totales	disueltos mg/L	APHA 2540 Determinación de sólidos totales disueltos (STD)
Fosfatos	mg/L	ISO 6878:2004. Determinación de la concentración de fosfatos.
Oxígeno disuelto	% saturación	ISO 5814. Determinación del oxígeno disuelto en aguas naturales, aguas residuales y aguas residuales tratadas
<b>Parámetros químicos</b>		
Turbidez	NTU	INEN1331 Determinación de turbidez
pH	adimensional	ISO 10523:2008 Determinación de pH
Temperatura	°C	ISO 772:1999 Temperatura de agua
<b>Parámetros microbiológicos</b>		
Coliformes fecales	NMP/100 ml	AOAC método oficial 991.14

- **Determinación del pH**

Se calibró el potenciómetro digital de la marca HORIBA LAQUA utilizando soluciones tampones (con valores de pH de 7,01 y 4,01). Es importante destacar que se enjuagó el electrodo con agua destilada o el agua de muestra antes de realizar la calibración. Una vez calibrado el instrumento, se sumergió el electrodo en cada muestra a analizar durante unos segundos hasta que el valor del pH se estabilizara y se reflejara en la pantalla del potenciómetro. Por último, se

registró el resultado de la medición en una libreta de notas para su posterior análisis (APHA, 1995)

**Figura 4.**

*Potenciómetro HORIBA LAQUA F-71*



- **Determinación de la demanda biológica de oxígeno (DBO)**

La norma de referencia es la APHA:5220 C, la cual implicó la preparación y adición de cuatro soluciones diferentes, cada una con sus componentes específicos, como el cloruro férrico hexahidratado, el cloruro de calcio anhidro, el sulfato de magnesio heptahidratado y el difosfato monobásico de potasio, difosfato disódico heptahidratado y cloruro de amonio, todos disueltos en agua destilada. Se añadieron 1 ml y 14,5 ml de la muestra a cada una de estas soluciones con la ayuda de una probeta.

## Figura 5.

*Equipo para detección de la demanda biológica de oxígeno*



- **Determinación de nitratos y fosfatos**

El fundamento para la determinación de nitratos y fosfatos es la colorimetría, teniendo como base las normas ISO 7890-2 y 6878:2004, el análisis de fosfatos y nitratos en el colorímetro LaMotte Smart3 implicó los siguientes pasos:

- Preparación de la muestra:** Se toma una muestra de agua y se coloca en una celda de cuarzo o plástico.
- Preparación de reactivos:** Se prepara una solución reactiva siguiendo las instrucciones del fabricante, que generalmente contiene reactivos ácidos y ácido ascórbico.
- Calibración del colorímetro:** Se enciende el colorímetro y se configura para medir fosfatos o nitratos, seleccionando el método y la longitud de onda adecuados.
- Medición de la muestra:** Se agrega la solución de reactivo a la muestra de agua en la celda siguiendo las proporciones y el tiempo recomendados.
- Lectura de la concentración:** La celda con la muestra se coloca en el colorímetro, que emite una luz de longitud de onda específica. La reacción química entre los fosfatos y el reactivo provoca un cambio de color en la muestra.

- f) **Registro de resultados:** El colorímetro LaMotte Smart 3 calcula automáticamente la concentración de fosfatos o nitratos en función de la absorbancia del color y muestra el valor en la pantalla (SM Part 4500-P E, 22nd Edition)

**Figura 6.**

*Colorímetro SMART 3*



- **Determinación de Sólidos disueltos totales (SDT)**

El fundamento para determinar este parámetro es la gravimetría, la norma empleada fue APHA 2540 “Determinación de sólidos totales disueltos (STD)”. Para la determinación de los sólidos totales se empleó un conductímetro EXTECH, el cual para su correcto manejo recomienda inicialmente realizar una calibración precisa del conductímetro utilizando la solución estándar correspondiente. Luego, para medir los sólidos totales, se toma un vaso de precipitación de 100 ml y se llena con agua destilada, donde se procede a retirar el protector del electrodo y sumergirlo en el vaso con el agua, realizando un enjuague adecuado. Posteriormente, en otro recipiente de precipitación, se introduce la muestra de agua que se desea analizar, y se sumerge el electrodo nuevamente en esta solución (Barcelo y López, 2017). Finalmente, se lleva a cabo la lectura correspondiente del conductímetro y se registra la información.

**Figura 7.**

*Conductímetro EXTECH*



- **Determinación de la temperatura del agua in situ**

Después de recoger la muestra de agua del punto establecido, se sumergió el termómetro digital durante un breve período de tiempo. A continuación, se realizó la lectura del valor correspondiente, esperando a que los valores mostrados en la pantalla no muestren variación para evitar cualquier error.

- **Determinación de la turbidez in situ**

El primer paso es calibrar el colorímetro smart3, para lo cual es necesario dejarlo encendido durante algunos minutos para que se estabilice adecuadamente. Luego, se llena una celda con agua destilada, se coloca en el equipo y se presiona el botón "Scan blank" para establecer un punto de referencia. A continuación, se reemplaza la celda con agua destilada por otra que contenga la muestra de agua a analizar, asegurándose de enjuagar esta celda varias veces con la muestra de agua para evitar errores. Finalmente, se realiza la lectura correspondiente de la turbidez de la muestra (Arango, 2018).

- **Oxígeno Disuelto**

El procedimiento para determinar el porcentaje de oxígeno disuelto en las muestras de agua empieza con la verificación del medidor el mismo debe estar en buen estado y calibrado.

Se sumergió la sonda en la muestra, evitando burbujas de aire. Se esperó a que las lecturas se estabilicen, la pantalla indicó la concentración de oxígeno disuelto. Posterior a esto se registró las lecturas para su posterior interpretación (APHA,1995).

**Figura 8.**

*Medidor de oxígeno disuelto HANNA HL9146*



- **Coliformes fecales**

Tomando como referencia el método oficial AOAC 991.14, se procedió a colocar a la placa Petrifilm en una superficie plana, seguido de esto se procedió a levantar la capa de la placa y se agregó 1 ml de la muestra de agua en el centro del círculo. Luego, se bajó la capa de la placa y presionó con la placa dispersora durante aproximadamente 30 segundos. Posteriormente, se introdujo la placa Petrifilm en la incubadora y se dejó incubar durante un período de 24 a 48 horas. Una vez completado el proceso de incubación, se colocó la placa en el contador de colonias y realizó el conteo y registro de los datos en unidades formadoras de colonias (UFC).

**4.3.1. Cálculo de índice de calidad del agua (ICA)**

En los siete puntos de monitoreo se llevaron a cabo análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos esenciales para calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA). La temperatura y el pH se midieron directamente en el campo, mientras que otros parámetros como nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos disueltos totales y coliformes fecales se

evaluaron en el laboratorio de química analítica de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA).

Para calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA) de acuerdo a la metodología de los Estados Unidos, se aplicó una fórmula basada en la suma ponderada lineal de los subíndices, tal como se propuso en el estudio de Brown (1970). Esta fórmula permite asignar un valor numérico que refleja la calidad general del agua en función de varios parámetros evaluados. El ICA-NSF se obtiene a través de un proceso de cálculo que considera la importancia relativa de cada subíndice en la calidad total del agua, descrito en la siguiente fórmula:

$$ICA = [P1 \times (Wi1) + P2 \times (Wi2) + \dots + Pn \times (Win)] / Wtotal$$

**Donde:**

**ICA:** Índice de Calidad del Agua.

**P:** valores de los parámetros de calidad del agua, como la concentración de contaminantes o propiedades físicas.

**Wi:** son los pesos asignados a cada parámetro, que reflejan su importancia relativa en la calidad del agua.

**Wtotal:** suma de los pesos de todos los parámetros.

Estos valores o pesos relativos reflejan la importancia relativa de cada parámetro en la evaluación general de la calidad del agua. Cabe mencionar que estos valores pueden variar según la metodología o el estándar específico utilizado en un proyecto de monitoreo de la calidad del agua. Además, es fundamental recalcar que el ICA es una herramienta valiosa para evaluar la calidad del agua y tomar decisiones informadas sobre la gestión de recursos hídricos y la protección del medio ambiente. Los valores o pesos relativos de cada parámetro que intervienen para el cálculo del ICA se detallan en la siguiente tabla 11:

**Tabla 9.**

*Pesos relativos de los parámetros para el cálculo del ICA*

<b>Parámetro</b>	<b>Peso relativo (wi)</b>
------------------	---------------------------

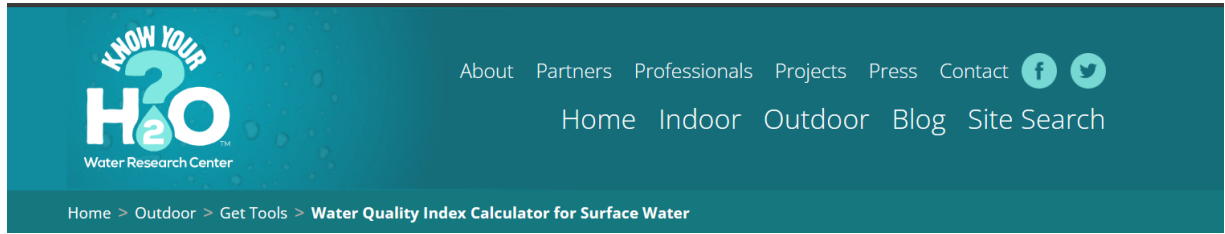
Coliformes fecales	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxígeno	0,10
Nitratos	0,10
Fosfatos	0,10
Cambio de temperatura	0,10
Turbidez	0,18
Sólidos disueltos totales	0,18
Oxígeno disuelto	0,17

*Nota:* Descripción de los pesos relativos establecidos por el ICA para determinar el índice de calidad de agua. Obtenido Brown, RM et al., 1970, citado por Gracia (2020) p 15.

Este enfoque permite asignar una puntuación a cada parámetro en función de su concentración, lo que posteriormente se utiliza en el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) para evaluar la calidad general del agua en los cuerpos de agua estudiados, estos datos fueron ingresados a una herramienta en línea KNOWYOURH2O™ que permite validar el índice de calidad de agua en base de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos.

**Figura 9.**

*Herramienta online para la determinación del ICA*



*Nota.* Herramienta en línea para la obtención del ICA. Obtenido de <https://www.knowyourh2o.com/outdoor-3/water-quality-index-calculator-for-surface-water>

#### 4.4. Establecimiento de las concentraciones de Ibuprofeno a lo largo del trayecto del río Tahuando

Para llevar a cabo este objetivo, se procedió a tomar muestras de agua en los siete puntos establecidos previamente lo largo de la cuenca del río Tahuando. Luego, se efectuó un análisis de la concentración de ibuprofeno empleando la técnica HPLC y se evaluaron sus potenciales repercusiones en el medio ambiente y de esta manera determinar el efecto de las actividades antropogénicas con la concentración de este contaminante emergente.

**Figura 10.**

*Equipo HPLC JASCO LC 2000PLUS SERIES*



- **Preparación de la columna:** Se instala una columna cromatográfica adecuada en el cromatógrafo líquido y equilibra con el solvente móvil. La elección de la columna dependerá de la separación específica que se desee lograr.
- **Preparación de la muestra:** se preparó las muestras de agua a analizar siguiendo los procedimientos adecuados. Esto puede incluir la filtración de muestras para eliminar partículas sólidas y la extracción o concentración de los analitos de interés, como el ibuprofeno, si es necesario.
- **Calibración:** se preparó una serie de soluciones estándar de ibuprofeno en concentraciones conocidas y utilízalas para calibrar el cromatógrafo. Esto permitirá la cuantificación precisa de la cantidad de ibuprofeno en las muestras.
- **Condiciones de cromatografía:** se procedió a la configuración de las condiciones de cromatografía en el LC 2000 Plus, incluyendo la elección del solvente móvil, la

velocidad de flujo, la temperatura de la columna y las condiciones de detección (longitud de onda para el detector UV-visible).

- **Corrida cromatográfica:** se inició la corrida cromatográfica. El solvente móvil llevará las muestras a través de la columna, separando los componentes presentes, incluido el ibuprofeno.
- **Detección y cuantificación:** El detector (UV-visible o DAD) registró la señal de absorción de los analitos a medida que salen de la columna. El ibuprofeno tiene una longitud de onda de absorción característica, que se utilizará para identificarlo y cuantificarlo en función de la respuesta obtenida en comparación con las soluciones estándar calibradas.
- **Análisis de datos:** se procesó los datos obtenidos para calcular la concentración de ibuprofeno en cada muestra.
- **Reporte de resultados:** se presentó y tabuló los resultados, incluyendo la concentración de ibuprofeno en las muestras de agua, tomando en cuenta los límites de detección y cuantificación.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **5.1. Evaluación de la calidad del agua mediante el análisis de los parámetros físico, químicos y microbiológicos del agua en el río Tahuando.**

Se realizó dos tomas de muestras en los meses de julio y octubre, en los cuales según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) se registró un promedio de lluvias

de 44mm y 78 mm respectivamente, los siete puntos muestreados son descritos en función a las actividades antrópicas cercanas, determinando así la influencia de estas con el índice de calidad de agua.

Se pudo evidenciar cerca de estos puntos actividades antrópicas, como la agricultura, ganadería, minería y asentamientos humanos, las cuales repercuten en la calidad del agua del río, de la misma manera se puede evidenciar en los muestreos descargas de aguas servidas las cuales van directamente al río sin ningún proceso previo de tratamiento como se puede evidenciar en la Figura 11.

**Figura 11.**

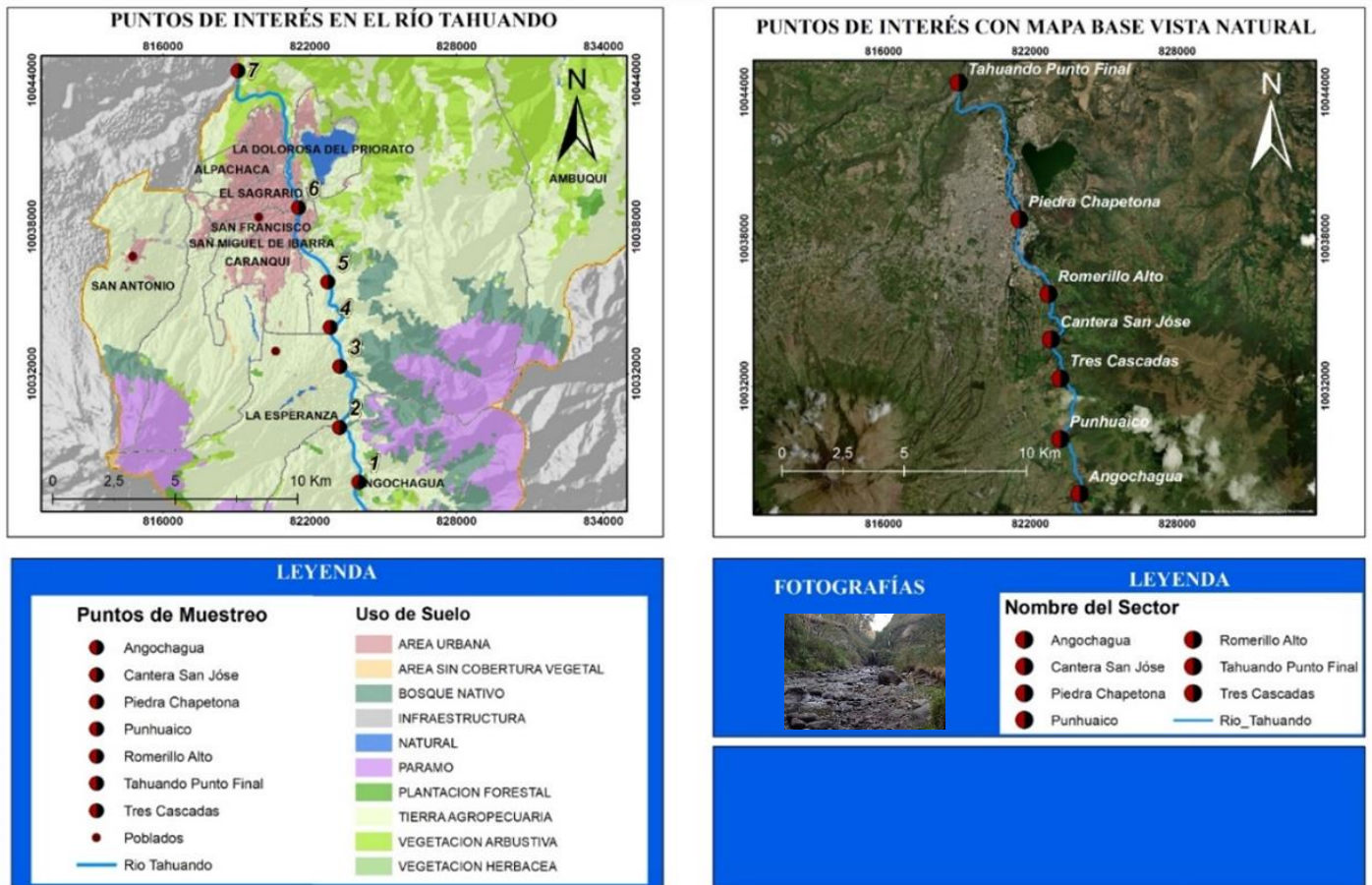
*Actividades antrópicas observadas cerca de los puntos muestreados*



En la Figura 12 se presenta el mapa con la georreferenciación que contiene la ubicación exacta de los 7 puntos seleccionados para evaluar la calidad del agua y la presencia de Ibuprofeno como contaminante emergente del río Tahuando.

**Figura 12.**

*Mapa de ubicación de la zona de muestreo*



### 5.1.1. Normativa ambiental para el cumplimiento de los estándares de calidad de agua superficial

Tomando en cuenta la normativa ambiental ecuatoriana tomada del Acuerdo ministerial 97/A del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE, 2015) se establece los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua, en la Tabla 10 se establece los límites máximos permitidos para diversos parámetros en cuerpos de agua superficiales, mismos que desempeñan un papel crucial en la evaluación de la idoneidad del agua para la preservación de los ecosistemas acuáticos.

**Tabla 10.***Parámetros de calidad de agua superficial*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible (MAE, 2015) Acuerdo 97/A</b>
Temperatura	°C	<20
Potencial de hidrógeno	adimensional	6,5 - 9
Nitrato	mg/L	13
Oxígeno Disuelto	% de saturación	>80% de saturación
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	20
Nitratos	mg/L	12
Sólidos disueltos Totales	mg/L	130
Turbiedad	UNT	100
Fosfatos	mg/L	0,50
Coliformes fecales	NMP/100ml	2000

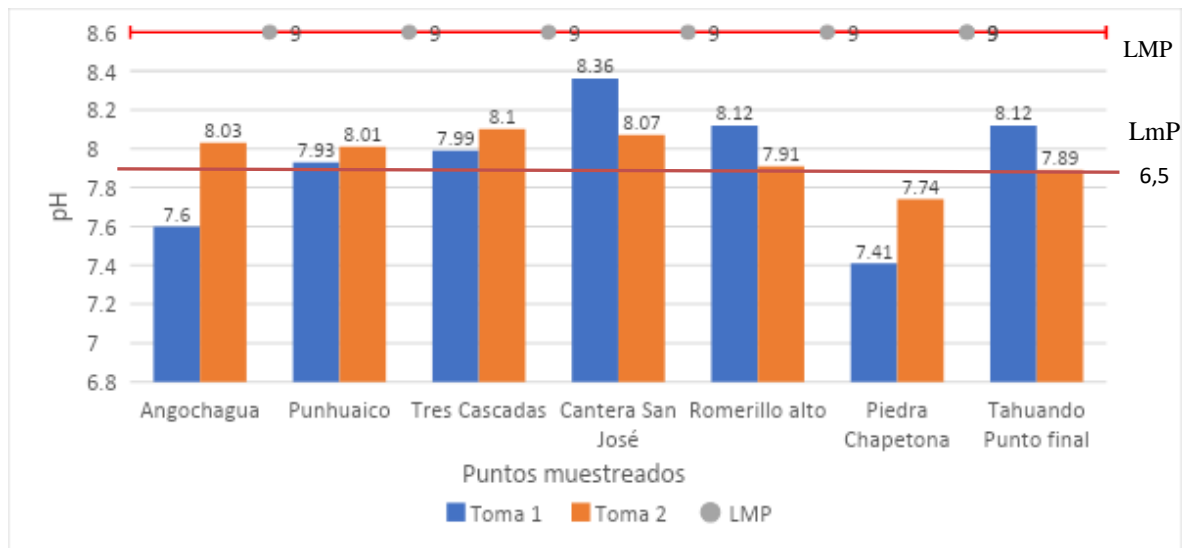
*Nota:* Obtenido del Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015)

### **5.1.2. Potencial de hidrógeno**

Los resultados que se obtuvieron del pH se observan en la Figura 13, los mismos fueron comparados con el criterio de calidad admisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces establecido en el Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015) como resultado en ninguno de los puntos muestreados se sobrepasó el límite de pH de 9 establecido en dicho criterio, obteniendo un valor máximo de 8,36 de igual manera ninguna de las muestras analizadas reportó valores inferiores al límite permitido de 6,5 obteniendo un valor mínimo de 7,41.

**Figura 13.**

*Valores de pH obtenidos en los puntos muestreados*



*Nota.* \*LMP: Límite máximo permitido LmP\*: Límite mínimo permitido. Obtenido Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015) \*Toma 1: Muestreo en julio 2023, \*Toma 2: Muestreo en octubre 2023

En investigaciones similares realizadas por Castro (2016), se obtuvo valores de pH comprendidos entre 7,59 siendo el valor más bajo reportado en el punto “17 de julio” y el valor más alto 8,35 en el punto “Puente Rojo”, en la investigación de Rosero (2021) ocurre una situación similar obteniendo el valor más bajo de pH 6,8 y un valor máximo de 7,49 en el punto “Puente Rojo” y García (2020) se reportaron valores de pH comprendidos entre 6,96 antes de la PTAR y 8,23 en el punto Romerillo alto. Los datos de pH registrados en los puntos de muestreo son aceptables según el libro VI del TULSMA, Acuerdo 97/A (MAATE, 2015), en cuanto a la descarga en la red de alcantarillado donde la mayor concentración se encuentra en Romerillo Alto 8,12 y el punto final 8,12 y la menor concentración en la piedra Chapetona 7,41. Con la comparación de los datos obtenidos se puede apreciar una ligera variación de los valores con el pasar de los años, de acuerdo con Barcelo y López (2017), la variación del pH en los ríos se ve fuertemente afectada por la actividad humana en sus proximidades. Factores como las descargas de aguas residuales, la industria, la agricultura, la erosión del suelo, la eliminación de desechos,

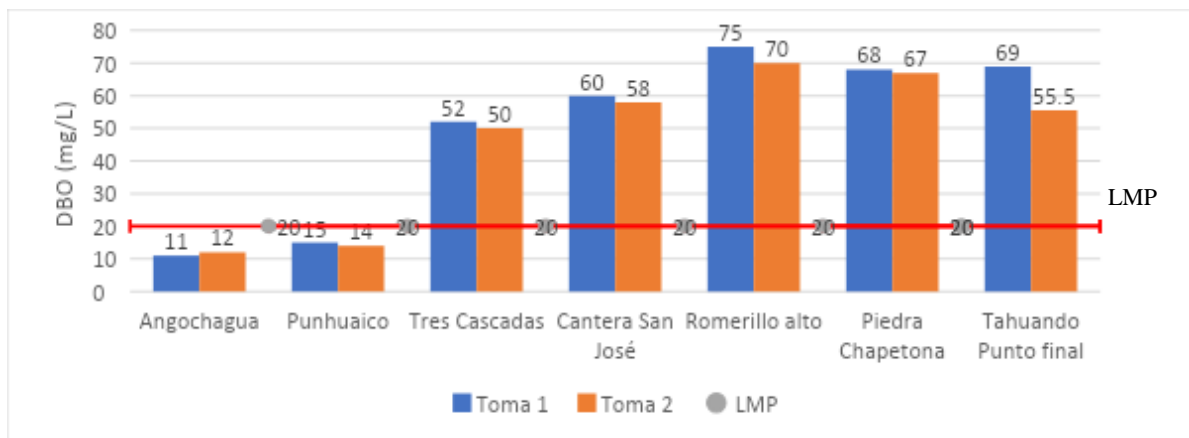
la modificación de cursos de agua, la urbanización y la extracción de recursos naturales tienen un impacto significativo en el pH del agua. Estas actividades pueden tanto acidificar como alcalinizar el agua, lo que hace crucial un monitoreo constante del pH y la aplicación de prácticas de gestión ambiental sostenible para preservar la salud de los ecosistemas acuáticos y mitigar los efectos adversos de la actividad humana en los ríos.

### 5.1.3. Demanda bioquímica de oxígeno

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de acuerdo con Castro (2016), es un indicador de la cantidad de oxígeno necesaria para que la materia orgánica presente en el agua sea biológicamente degradada. Cuando se registra un valor alto de DBO, esto señala la existencia de una gran cantidad de materia orgánica, lo cual puede ser perjudicial para los ecosistemas acuáticos, ya que conlleva a una disminución del oxígeno disponible en el agua, pudiendo dar lugar a la hipoxia y, como consecuencia, a la muerte de los organismos acuáticos. En consecuencia, la DBO se convierte en un indicador crucial para evaluar la calidad del agua y su impacto en el entorno ambiental

**Figura 14.**

*Valores de DBO obtenidos en los puntos muestreados*



*Nota.* \*LMP: Límite máximo permitido. Obtenido del Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015) \*Toma 1: Muestreo en julio 2023, \*Toma 2: Muestreo en octubre 2023

Los valores de los puntos de muestreo en el río presentan una amplia variación, con concentraciones que van desde 11 mg/L en el punto 1, Angochagua, hasta 75 mg/L en el punto 5, Romerillo. Al comparar estos resultados con el estándar de calidad aceptable de 20 mg/L según el Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015), se afirma que a partir del segundo punto (Punhuaico) los puntos muestreados superan este criterio. Este exceso podría deberse a las descargas de aguas residuales a lo largo del área estudiada, aunque también podría influir la presencia de condiciones naturales en el momento del muestreo.

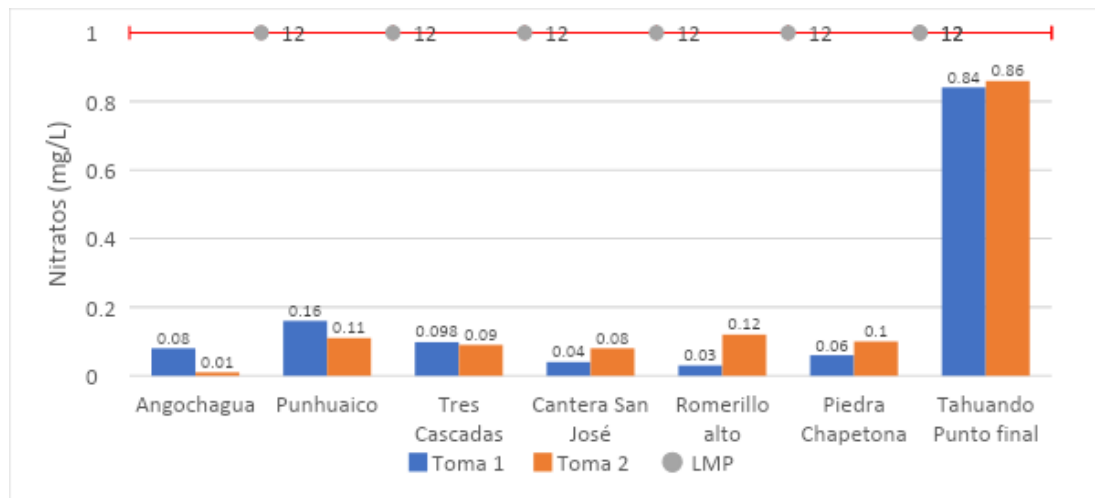
En investigaciones previas, Castro (2016), reportó valores superiores a 80 mg/L en la zona media del río. García (2020) presentó resultados que variaron de 4,5 mg/L a 21 mg/L durante la temporada de lluvias y de 0,20 mg/L a 53,50 mg/L en la temporada seca. Finalmente, en el estudio de Rosero (2021), se registró el valor más alto de 72,80 mg/L. Al comparar estos resultados con la investigación actual, se evidencia un deterioro progresivo en la calidad del agua, y la descarga de aguas residuales municipales se destaca como la fuente principal de contaminación.

#### **5.1.4. Nitratos**

En la Figura 19 se pueden observar las medias de concentración de nitratos en los puntos muestreados, de acuerdo con el Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015), en ninguno de los puntos muestreados se superó el límite establecido (12 mg/L), sin embargo en el punto siete se evidenció una concentración superior de nitratos con relación a los otros puntos esto se puede deber según Fernández (2019), a que el río arrastro una mayor cantidad de sedimentos, esto lo corrobora también los resultados de fosfatos y sólidos disueltos totales, en los cuales también se obtuvo valores superiores a los puntos anteriormente muestreados.

**Figura 15.**

*Valores de nitratos obtenidos en los puntos muestreados*



*Nota.* Límite máximo permitido 12 mg/L. Obtenido del Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015) \*Toma 1: Muestreo en julio 2023, \*Toma 2: Muestreo en octubre 2023

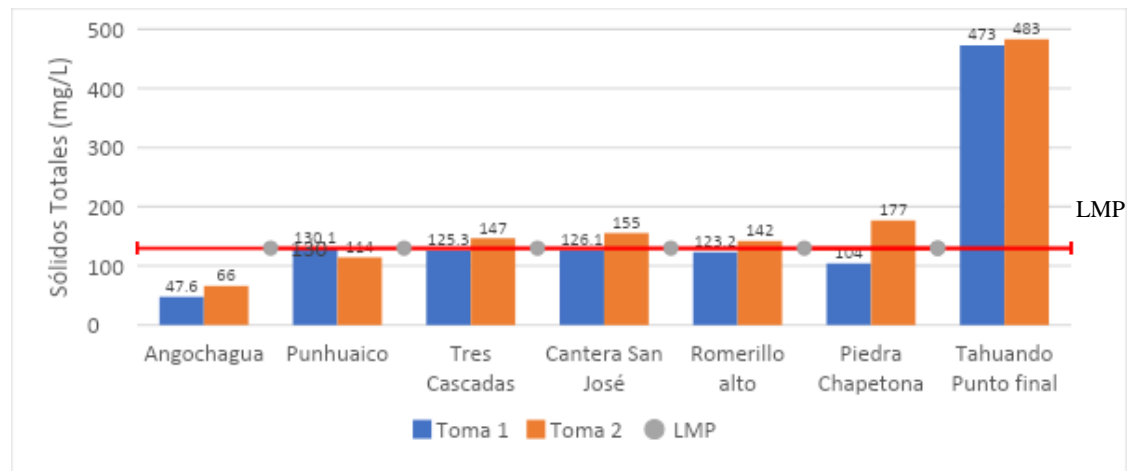
Las investigaciones realizadas por Castro (2016); García (2020); Rosero (2021), registraron valores máximos de 1,21 mg/L, 7,08 mg/L y 1,56 mg/L respectivamente, mismos valores que se encuentran en los puntos donde existen asentamientos urbanos cerca de las riberas del río, también se pudo evidenciar que existían valores altos en las áreas rurales, según Aguirre, Vanegas y Gracia (2016), los nitratos en el agua son un indicio de una gestión agrícola y ganadera inadecuada, en contraste con la presente investigación se obtuvo valores máximos de 0,86 mg/L en el punto final muestreado y en un punto en la zona rural de Punhuaico con 0,16 mg/L.

### **5.1.5. Sólidos disueltos totales (SDT)**

Los resultados obtenidos para la cantidad de sólidos disueltos totales están comprendidos entre 47,6 mg/L en el punto 1 y un valor máximo de 483 mg/L esto se debe como menciona García (2020), a que el río arrastro una mayor cantidad de sedimentos en este punto, también puede existir incidencia de las condiciones ambientales que se pudieron producir en los muestreos.

**Figura 16.**

*Valores de SDT obtenidos en los puntos muestreados*



*Nota.* \*LMP: Límite máximo permitido. Obtenido del Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015) \*Toma 1: Muestreo en julio 2023, \*Toma 2: Muestreo en octubre 2023

Tomando como referencia los resultados obtenidos por García (2020) en la época seca se tuvo una media de Sólidos Disueltos totales (SDT) de 190,21 mg/L. En la época lluviosa los SDT de 165 mg/L. Al comparar las con los criterios de calidad admisibles, se puede observar que superan el límite establecido, esto se puede deber a que el río arrastro una mayor cantidad de sedimentos, por las condiciones naturales, por otra parte, Castro (2016) reporta el máximo valor de 2500 ppm en los sitios Puente Rojo y 17 de Julio. Según Aguirre, Vanegas y García (2016) la actividad antrópica es una de las principales fuentes de aumento de los niveles de SDT en los ríos. Las actividades agrícolas, la construcción, la minería y la urbanización pueden generar sedimentos que terminan en el agua, aumentando los niveles de SDT. Además, la erosión del suelo causada por la deforestación y la degradación del suelo también puede contribuir significativamente a la carga de SDT en los ríos.

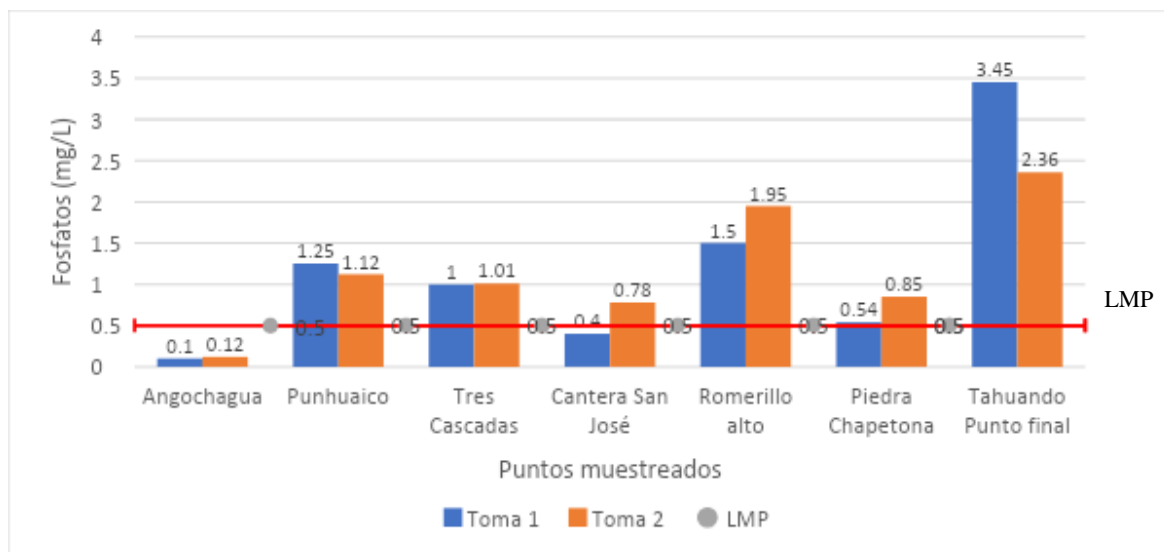
### **5.1.6. Fosfatos**

La concentración de fosfatos en los sitios Punhuaico, Romerillo alto y en el punto final del río Tahuando, en las dos fechas de monitoreo se ubican en el rango de 1,12 a 3,45 mg/L. Este parámetro es un indicador importante de la calidad del agua en términos de su capacidad

para mantener la vida acuática, su utilidad para el consumo humano y su idoneidad para otros usos. De acuerdo con Barcelo y López (2017) los fosfatos tienen un impacto significativo en la calidad del agua, especialmente en cuerpos de agua dulce como ríos y lagos, pueden provenir de diversas fuentes, incluyendo actividades agrícolas, industriales y domésticas.

**Figura 17.**

*Valores de fosfatos obtenidos en los puntos muestreados*



*Nota.* \*LMP: Límite máximo permitido. Obtenido del Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015) \*Toma 1: Muestreo en julio 2023, \*Toma 2: Muestreo en octubre 2023

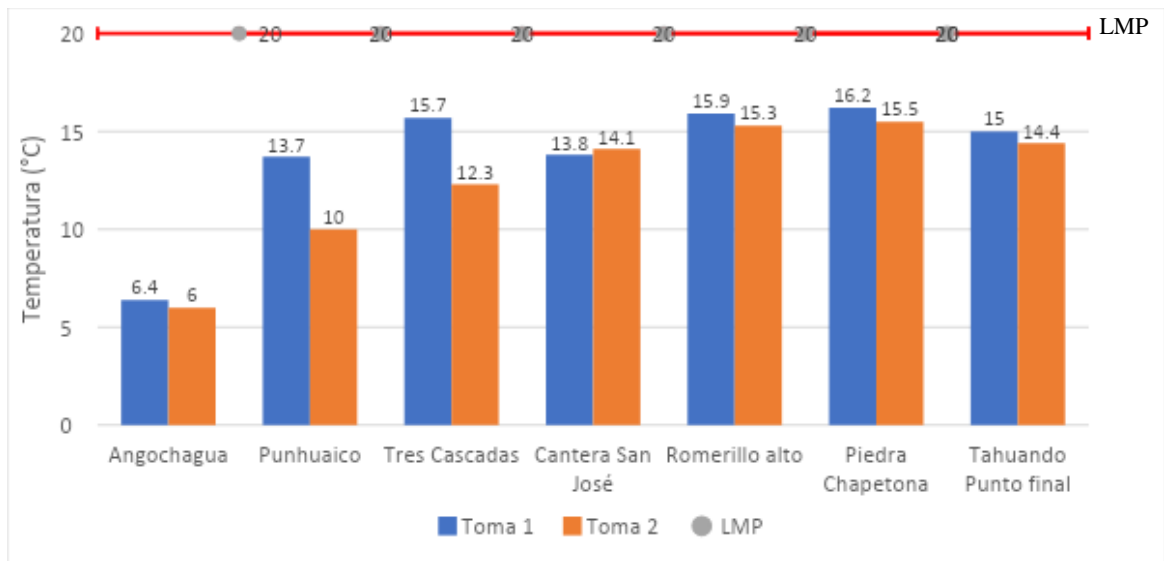
Al comparar los resultados obtenidos con las investigaciones Rosero (2021) y Castro (2016) los valores máximos de la concentración de fosfatos sobrepasan los valores expuestos en estas investigaciones (1,48 y 1,1 mg/L respectivamente) evidenciando un incremento en el valor de los mismos con el pasar del tiempo debido a la aplicación excesiva de fertilizantes que contienen fosfatos en campos agrícolas y los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales inadecuados que pueden permitir la liberación de fosfatos en los ríos, especialmente en áreas urbanas (Bureau, 2019).

### 5.1.7. Temperatura

Los resultados que se obtuvieron de temperatura se enumeran en la Figura 17, el valor mínimo fue 6 °C, y un máximo de 16,2 °C, al comparar estos valores con el criterio de calidad permisible que se establece en el Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015) se deduce que todos los valores cumplen con este criterio.

**Figura 18.**

*Valores del cambio de temperatura obtenidos en los puntos muestreados*



*Nota.* \*LMP: Límite máximo permitido. Obtenido del Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015) \*Toma 1: Muestreo en julio 2023, \*Toma 2: Muestreo en octubre 2023

Rosero (2021) y Castro (2016), obtuvieron temperaturas máximas de 17,64 y 16,5°C respectivamente en el punto Fina del río Tahuando, en este parámetro los datos obtenidos concuerdan con los de estas investigaciones previas, indicando que no existe una diferencia significativa del cambio de temperatura.

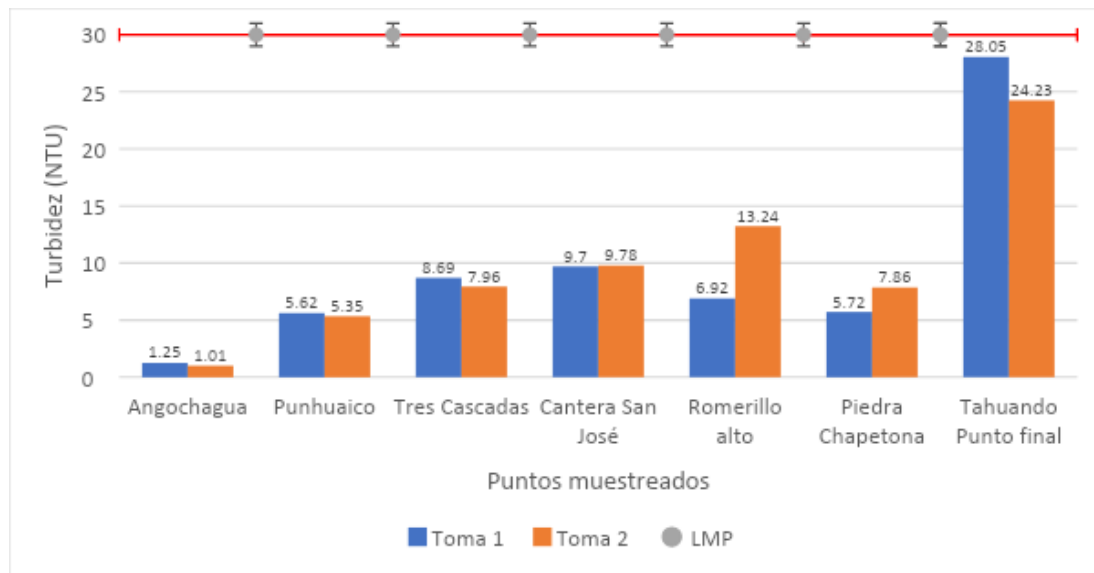
### 5.1.8. Turbidez

La turbidez del agua en los siete puntos representativos es inferior a 30 NTU; sin embargo, en el punto final, se evidencia una apreciable elevación de la turbiedad en comparación

a los puntos anteriores, correspondiéndole el mayor rango 28,05 NTU, lo cual se atribuye a un importante arrastre de materiales, ello tiene también relación con el contenido de sólidos totales y aniones.

**Figura 19.**

*Valores de turbidez obtenidos en los puntos muestreados*



*Nota.* Límite máximo permitido 100 NTU. Obtenido del Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015) \*Toma 1: Muestreo en julio 2023, \*Toma 2: Muestreo en octubre 2023

Rosero (2021), expresa que los niveles determinados de turbiedad del río Tahuando comprenden valores entre 19,55 y 32,49 NTU, siendo valores moderados de turbiedad, lo que se relaciona con precipitaciones bajas durante los meses de estudio. A comparación con los datos obtenidos por Castro (2016), que comprenden valores entre 14,5 y 89,6 NTU, los datos máximos alcanzados al igual que en esta investigación están en puntos cercanos a perímetros urbanos y descargas de aguas servidas en el río.

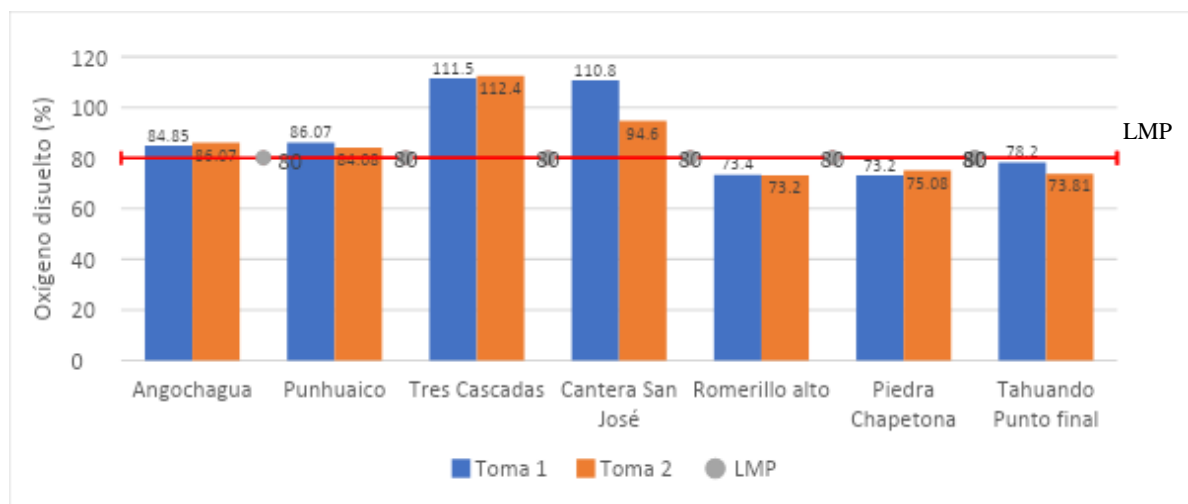
### **5.1.9. Oxígeno disuelto**

En la Figura 19 se detallan los resultados de Oxígeno Disuelto siendo el criterio de calidad admisible establecido en el Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015) mayor de 80%

de saturación. El valor máximo es 111,5% y un valor mínimo de 73,24% Los resultados obtenidos en los primeros cuatro puntos cumplen con el criterio de calidad admisible, en contraste, los últimos tres puntos poseen valores inferiores al límite máximo permitido, esto se puede asociar a la alta concentración de materia orgánica presente en el agua ya que los microorganismos necesitan una mayor cantidad de oxígeno disuelto para descomponerla (Toasa, 2019), ya que estos puntos se encuentran cerca de asentamientos urbanos.

**Figura 20.**

*Valores de oxígeno disuelto obtenidos en los puntos muestreados*



*Nota.* \*LMP: Límite máximo permitido. Obtenido del Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015) \*Toma 1: Muestreo en julio 2023, \*Toma 2: Muestreo en octubre 2023

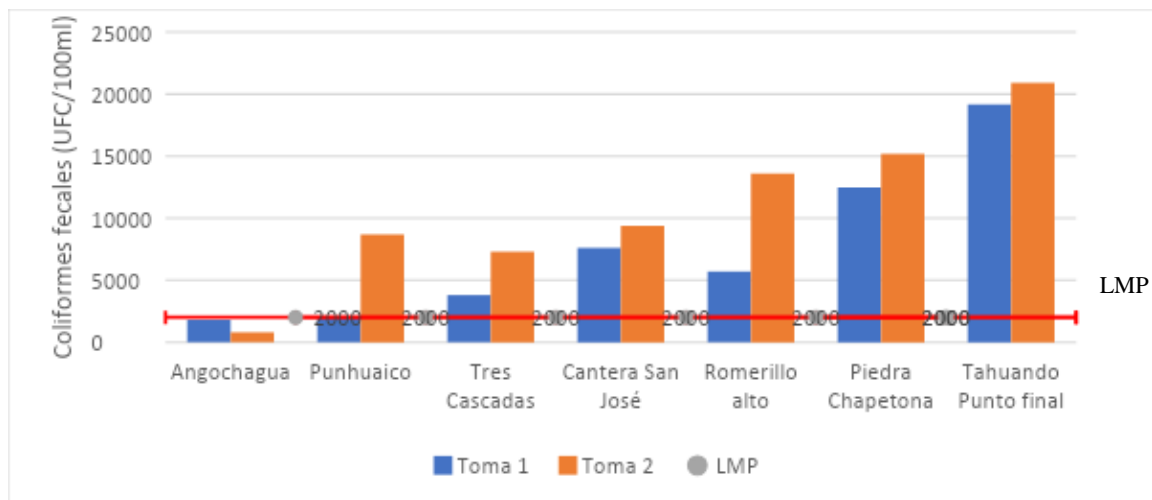
Los datos de Rosero (2021) y Castro (2016), indican un porcentaje mínimo de saturación de 81,60% y 68,24% en el punto denominado “puente rojo”, el mismo que no cumple con el criterio de calidad en el caso de la investigación de Castro. El porcentaje de saturación de oxígeno en el agua es crucial para evaluar la calidad del agua, de acuerdo con Carrillo (2019), valores bajos de oxígeno indican un ambiente acuático insalubre esto puede resultar de factores como la contaminación, esto afecta negativamente la vida acuática, especialmente peces y otros organismos sensibles al oxígeno.

### 5.1.10. Coliformes fecales

En el primer punto de muestreo se registraron niveles de coliformes fecales de 800 y 1800 UFC/100 ml mismos que cumple con la normativa establecida en el Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015), a comparación del último punto de muestreo presentó las concentraciones más altas de coliformes fecales, con valores de 19.150 y 20.900 UFC/100 ml respectivamente. Estas cifras se atribuyen a la influencia significativa de aguas residuales procedentes del sistema de alcantarillado, que son vertidas al río en esos puntos. Estos resultados destacan que la calidad del agua del río Tahuando a medida que atraviesa el área urbana de la ciudad es extremadamente deficiente y se encuentra contaminada por las descargas del sistema de alcantarillado municipal (Castro, 2016).

**Figura 21.**

*Valores de Coliformes fecales obtenidos en los puntos muestreados*



*Nota.* \*LMP: Límite máximo permitido. Obtenido del Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015) \*Toma 1: Muestreo en julio 2023, \*Toma 2: Muestreo en octubre 2023

Peña (2022), determinó que en el punto 1 “Angochahua” se encuentra en la zona alta en estado natural con mínima incidencia antrópica, obteniendo valores comprendidos entre 210 y 230 UFC/100ml mismos que se encuentra dentro de los límites permisibles, siendo apta para el consumo humano y doméstico.

## **5.2. Cálculo e interpretación del índice de calidad de agua**

Una vez procesado los datos mediante la herramienta en línea KNOWYOURH2O™ se determinó el valor del índice de calidad de agua para las dos tomas realizadas en julio y octubre del 2023 (Tabla 11 y 12), como resultado se obtuvo valores que variaron entre 44 y 72, lo que indica una calidad de agua que va desde la categoría “Mala” hasta “Buena”. Estos valores reflejan diferentes grados de contaminación, siendo 44 el indicativo de una mayor contaminación y 72 de una menor contaminación ambiental. En las dos fechas de muestreo, se observó que la mejor calidad del agua se encontraba en los sitios de Angochagua y Punhuaico. Este patrón revela claramente el impacto de las actividades urbanas y las descargas de aguas residuales en la calidad del agua del río Tahuando a medida que fluye a través de la ciudad. Estos resultados subrayan la importancia de implementar medidas de control y prevención de la contaminación en la gestión de recursos hídricos y la protección de los ecosistemas acuáticos en esta área.

A partir de la recopilación de datos, se ha generado un mapa que indica los índices de calidad en los siete puntos de muestreo (Figura 22). El análisis detallado de este mapa posibilita la identificación clara de la relación existente entre las prácticas antropogénicas y los niveles de contaminación del agua en la región de estudio. El mapa elaborado se convierte en un recurso indispensable para evaluar con urgencia la pertinencia de implementar medidas de tratamiento del agua antes de su vertido en el río. La calidad del agua en el tramo investigado del río Tahuando demanda una atención especial y la aplicación de acciones correctivas, resaltando la necesidad de adoptar prácticas de gestión sostenible del agua para conservar la salud y la integridad del ecosistema acuático local.

**Tabla 11.***Cálculo del índice de calidad del agua toma 1*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	Angochagua	Punhuaico	Tres Cascadas	Cantera San José	Romerillo alto	Piedra Chapetona	Tahuando Punto final	<b>LMP</b>
pH	adimensional	7,6	7,93	7,99	8,36	8,12	7,41	8,12	<b>6,5 - 9</b>
Demanda Bioq.									
Oxígeno	mg/L	11	0,2	0,5	0,4	5,87	9,45	21	<b>20</b>
Nitratos	mg/L	0,08	0,16	0,098	0,04	0,03	0,06	0,84	<b>13</b>
Sólidos disueltos									
Totales	mg/L	47,6	130,1	125,3	126,1	123,2	104	473	<b>130</b>
Fosfatos	mg/L	0,1	1,25	1	0,4	1,5	0,54	3,45	<b>0,5</b>
Cambio de									
temperatura	°C	8,9	12,1	11,1	5,1	4,9	1,2	11,6	-
Temperatura	°C	17,5	17,5	14,8	15,05	16,34	16,2	16,8	<b>&lt;20</b>
Turbidez	NTU	1,25	5,62	8,69	9,7	6,92	5,72	28,05	<b>100</b>
Oxígeno disuelto	% saturación	84,85	86,07	111,5	110,8	73,4	73,2	78	<b>&gt;80</b>
Coliformes fecales	NMP/100ml	1800	2100	3800	7600	5700	12480	19150	<b>2000</b>
<b>Valor ICA</b>		71	60	62	68	56	53	44	
Clasificación ICA		Buena	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Mala	

*Nota.* \*LMP: Límite máximo permitido. Obtenido del Acuerdo ministerial 97/A (MAE, 2015) \*Toma 1: Muestreo en julio 2023

**Tabla 12.***Cálculo del índice de calidad del agua toma 2*

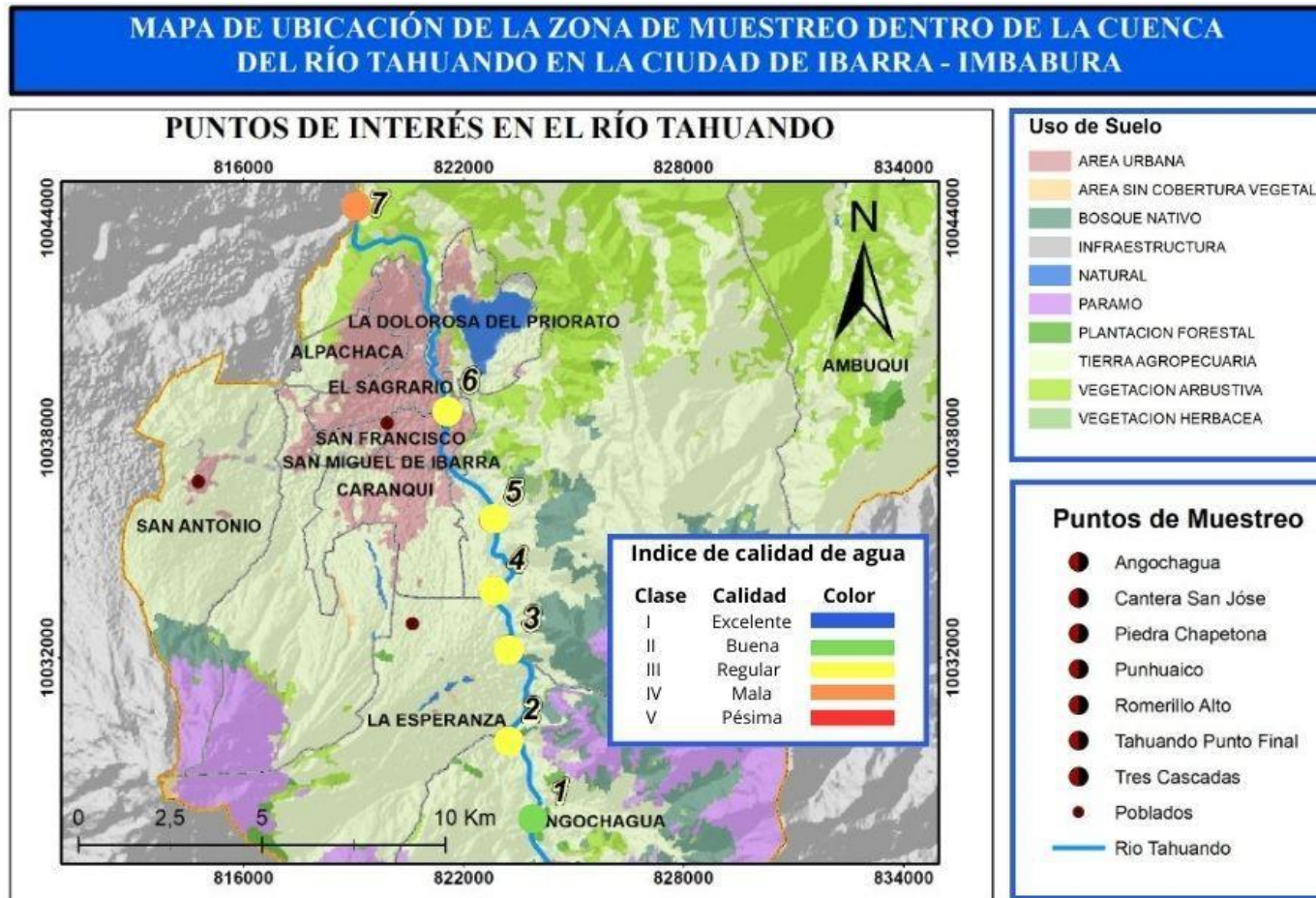
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	Angochagua	Punhuaico	Tres Cascadas	Cantera San José	Romerillo alto	Piedra Chapetona	Tahuando Punto final	<b>LMP</b>
pH	adimensional	8,03	8,01	8,1	8,07	7,91	7,74	7,89	<b>6,5 - 9</b>
Demanda Bioq.									
Oxígeno	mg/L	12	6	8	4,5	8	6	55,5	<b>20</b>
Nitratos	mg/L	0,01	0,11	0,09	0,08	0,12	0,1	0,86	<b>13</b>
Sólidos disueltos									
Totales	mg/L	66	114	147	155	142	177	483	<b>130</b>
Fosfatos	mg/L	0,12	1,12	1,01	0,78	1,95	0,85	2,36	<b>0,5</b>
Cambio de									
temperatura	°C	6,6	11,3	15,3	4,2	10,8	0,4	6,7	-
Temperatura	°C	11,7	12,7	13,4	14,6	15,5	15,5	17,4	<b>&lt;20</b>
Turbidez	NTU	1,01	5,35	7,96	9,78	13,24	7,86	24,23	<b>100</b>
Oxígeno disuelto	% saturación	86,07	84,08	112,4	94,6	73,2	75,08	73,81	<b>&gt;80</b>
Coliformes fecales	NMP/100ml	800	8700	7300	9400	13600	15200	20900	<b>2000</b>
<b>Valor ICA</b>		72	63	60	67	59	55	47	
Clasificación ICA		Buena	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Mala	

*Nota.* \*LMP: Límite máximo permitido. Obtenido del Acuerdo ministerial 97/A (MAATE, 2015) \*Toma 2: Muestreo en octubre 2023



Figura 22.

Mapa con los índices de calidad de agua en el tramo del río Tahuando



Los datos de Rosero (2021) y Castro (2016), en una comparativa determina que en los puntos Puente Rojo, Guayabillas y Romerillo se denota una disminución de la calidad del agua con respecto a los primeros puntos muestreados, siendo la más representativa en Puente Rojo, donde según Castro (2016), indica una categoría de calidad Media (51 – 70 ICA) siendo un agua contaminada por agentes externos. Rosero (2021), concluyó que el estado del punto denominado Puente Rojo cambio a Mala (menor a 50 ICA) con un valor de 47,80 siendo inaceptable para consumo humano y requiere un tratamiento, comportamiento similar al encontrado en la presente investigación, en la que en el punto final se determinó una calificación de mala a las muestras obtenidas. Es notable que a medida que el río Tahuando atraviesa la zona urbana de la ciudad de Ibarra, su índice de calidad del agua disminuye gradualmente, alcanzando su valor más bajo en el punto final de muestreo.

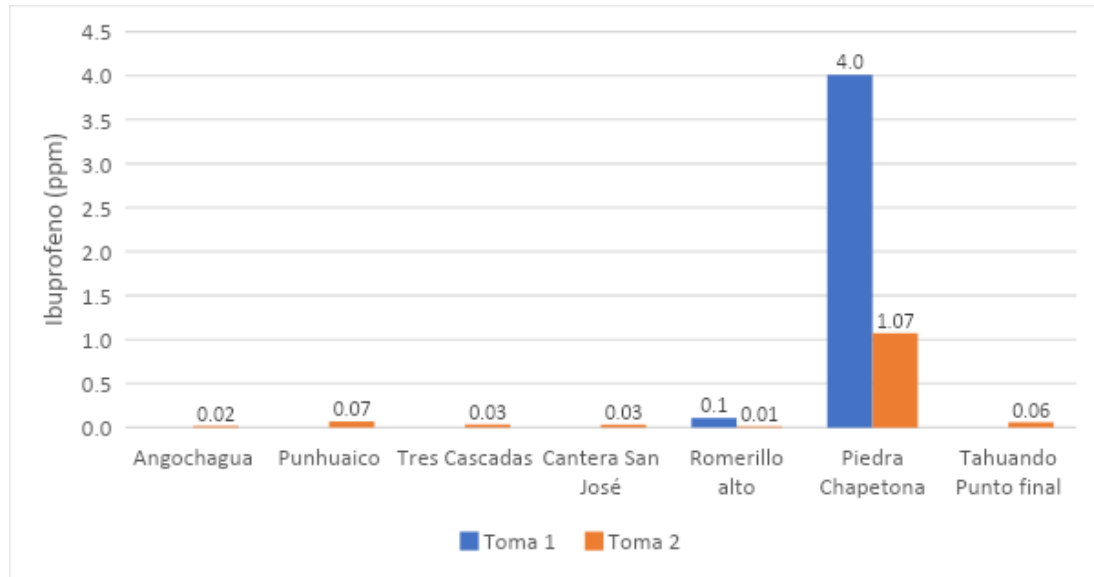
En un estudio mas actual Peña (2022), determinó que en el P1 “Angochagua”, el ICA muestra calidad de agua Buena, en los puntos P2 “Punhuaico”, P3 “Tres, Cascadas P5 “Romerillo”, P6 “Piedra Chapetona”, y P7 “Punto final Tahuando”, el ICA muestra calidad de agua Regular, demostrando correlación entre los índices acorde al deterioro de riberas y aportes significativos de aguas residuales lo que hace que disminuya la calidad de la misma. como resultado Peña (2022), afirma que se muestra el deterioro progresivo del cuerpo hídrico a medida que cambian las características de las riberas y el cauce recibe aportes de aguas contaminadas provenientes de la a actividades antrópicas cercanas al río.

### **5.3. Determinación de los niveles de concentración de Ibuprofeno y su comportamiento en el agua del río Tahuando.**

Los resultados obtenidos en el muestreo del agua del río Tahuando son de gran relevancia en el contexto de la preservación ambiental y la calidad del agua en esta región. El río Tahuando, es una fuente vital de recursos hídricos para las comunidades que lo rodean, y su estado de salud y calidad es esencial tanto para la vida acuática como para el bienestar de las personas. Los resultados obtenidos se expresan en las siguientes tablas.:

**Figura 23.**

*Concentraciones de Ibuprofeno en los puntos muestreados*



*Nota:* \*Toma 1: Muestreo en julio 2023, \*Toma 2: Muestreo en octubre 2023

En el primer muestreo realizado se pudo determinar que existía presencia de ibuprofeno únicamente en los puntos: Romerillo Alto y Piedra Chapetona con una concentración de 0,1079 y 4,0107 ppm, datos que corresponden a los tomando en cuenta en la investigación de García (2020), en la cual se evidenció la presencia de un contaminante emergente (Diclofenaco) en los puntos previos a la PTAR, esto debido a las descargas residuales de las poblaciones aledañas al río. La presencia de ibuprofeno en las aguas del río Tahuando o cualquier cuerpo de agua puede tener diversas influencias en el ecosistema acuático y en la salud humana. Santos y otros (2010) expresan que entre los principales efectos de los contaminantes emergentes: impacto en la vida acuática, acumulación en la cadena alimenticia, impacto en la biodiversidad y la resistencia a los antibióticos. En el segundo muestreo realizado se pudo evidenciar la presencia de Ibuprofeno en todos los puntos muestreados, siendo el punto 6, ubicado en la Piedra Chapetona en el cual se encontró la más alta concentración de Ibuprofeno (1,0708 ppm), seguido del punto 2 Punhuiaco (0,0729ppm) y el punto 7 Tahuando final (0,0687 ppm). Las concentraciones de Ibuprofeno en el segundo muestreo están relacionadas con los factores climáticos en el momento

del muestreo, la presencia de lluvias ocasiona escorrentía de aguas de generando que los contaminantes presentes en la tierra agrícola, como pesticidas, fertilizantes y otros productos químicos, pueden ser arrastrados hacia el río a través de la escorrentía superficial. Esto puede incluir el ibuprofeno, que se encuentra en aguas residuales de origen humano y animal (Barcelo & López, 2017).

Dávila (2020), determinó la presencia del paracetamol como contaminante emergente en el río Tahuando obteniendo como resultado que en el punto Romerillo no existe contaminación de paracetamol, el punto con un alto grado de contaminación de paracetamol fue “entrada a la PTAR” con un total de 17,89 mg/L, El segundo punto que presenta gran concentración de paracetamol es en la “salida de la PTAR” con 15,23 mg/L, con lo que afirma que la PTAR no desempeña un buen funcionamiento para la eliminación de estos contaminantes emergentes.

García (2020), al identificar la presencia de Carbamazepina determinó, en el punto 4 “Angochagua” una concentración de 0,1247 µg/L y en el penúltimo punto “Antes PTAR Ibarra” una concentración de 0,4529 µg/L, la presencia de este contaminante emergente es un marcador de contaminación antropogénica. De igual forma, se obtuvieron concentraciones de Diclofenaco en el punto 1 “Olmedo/Pesillo” de 2,065 µg/L, en el punto 6 “Antes PTAR Ibarra” 7,9245 µg/L y 9,5189 µg/L en el último punto, su presencia se debe a su uso en la veterinaria y a las descargas residuales de las poblaciones cercanas a este cuerpo de agua.

Es importante destacar que la contaminación de ríos y cuerpos de agua cercanos a zonas agrícolas son problema común, y su mitigación requiere una gestión adecuada de los residuos agrícolas, la promoción de prácticas sostenibles en la agricultura y la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Estos valores determinan la actividad humana cercana a las orillas del río y su influencia en la calidad del agua.

En el presente estudio se puede evidenciar que existe presencia de ibuprofeno en el punto 6 Piedra Chapetona (4,0107 ppm), pero en el siguiente punto de muestreo (Tahuando punto final) la cantidad encontrada de ibuprofeno se reduce a valores inferiores (0,0687 ppm), con estos resultados se puede determinar que existe un proceso de degradación de este contaminante emergente en el río, tomando como referencia lo expresado por Torres, Cruz, y Patiño (2019), la degradación de contaminantes emergentes en un río puede ocurrir a través de diferentes

mecanismos, como la fotodegradación (descomposición por la luz solar), la biodegradación (descomposición por microorganismos) y la hidrólisis (descomposición por reacción con el agua), estos procesos pueden ser influenciados por factores como la temperatura, el pH, la presencia de microorganismos y la concentración de oxígeno en el agua.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES

- En el trayecto estudiado del río Tahuando, una vez analizados los parámetros físico-químicos se determinó que el primer punto muestreado de acuerdo al Índice de Calidad de Agua (ICA-NSF) tiene una calidad “buena” los posteriores cinco puntos poseen una calidad regular del agua, en el punto 7 punto final del Tahuando obtuvo la calificación “mala”, estos índices de calidad están relacionados directamente a las actividades antrópicas cercanas a los puntos de muestreo.
- Según el acuerdo ministerial 097-A bajo el criterio de calidad admisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua, los parámetros de nitratos, temperatura, pH y turbidez cumplen con los límites máximos permitidos en todos los puntos muestreados, en contraste, los parámetros de oxígeno disuelto y Coliformes fecales únicamente cumplen los límites máximos en el punto 1.
- Se determinó que existe presencia de Ibuprofeno en las muestras analizadas del punto 5 y 6 con concentraciones de 0,1079 ppm y 4,0107 ppm en el primer muestreo, la presencia de este contaminante emergente es un marcador de contaminación antropogénica. De igual forma, en el segundo muestreo se obtuvieron los valores más altos de presencia de Ibuprofeno en punto 6 Piedra Chapetona (0,0729ppm) y el punto 2 Punhuaico (0,0687 ppm) debido las descargas residuales domésticas y al uso de este fármaco en la actividad agropecuaria proveniente de las poblaciones cercanas a este cuerpo de agua.

## **CAPÍTULO VII**

### **RECOMENDACIONES**

- Se debe asegurar la calidad del agua del río Tahuando, tramo Angochagua – Ibarra, para el uso de las diferentes actividades de los habitantes de las cinco parroquias que atraviesa este río, realizando análisis físico - químicos del agua mensualmente e involucrando a la población en su cuidado.
- Se recomienda realizar un control sobre las descargas que existen después de la PTAR, debido a las altas concentraciones de contaminantes emergentes que se encontraron en los diferentes parámetros analizados.
- Se recomienda considerar los datos obtenidos sobre Ibuprofeno como un punto de partida para una investigación a mayor profundidad sobre la presencia de estos contaminantes emergentes en el río Tahuando y sus efectos sobre la flora y fauna del río.
- Se recomienda realizar nuevos estudios para analizar la presencia de otros contaminantes emergentes como medicamentos de uso humano y veterinario, así mismo realizar análisis de metales pesados en los puntos muestreados para determinar su influencia sobre la vida acuática del río Tahuando.

## CAPÍTULO VIII

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencial Española de Medicamentos y Productos Sanitarios [AEMPS]. (2019). *Ficha Técnica del Paracetamol*. Obtenido de [https://cima.aemps.es/cima/dochtml/ft/77230/FichaTecnica\\_77230.html](https://cima.aemps.es/cima/dochtml/ft/77230/FichaTecnica_77230.html)
- Aguirre, A., Vanegas, E., & García, N. (2016). *Aplicación del índice de calidad de agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala*. Guatemala: Revista Ciencias Técnicas agropecuarias.
- Arango, Á. (2018). *Crisis mundial del agua*. . P+L vol.8 no.2.
- Argandoña, F., & Macías, K. (2021). *Determinación de sólidos totales, suspendidos sedimentados y volátiles en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la parroquia Colón*. Universidad Técnica de Manabí.
- Barcelo, H., & López, A. (2017). *Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes*. Barcelona : Instituto de investigaciones químicas y ambientales .
- Barros, C. (2020). *MSP compró paracetamol a un precio 25% mayor que sus hospitales y distritos*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2020/06/07/nota/7860852/farmaco-paracetamol-se-compro-002-10-durante-esta-emergencia>
- Bolaños, A., Segura, G., & Cordero, R. (2017). *Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en el agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre en dos cantones de alajuela*. Scielo.
- Bureau, I. (2019). *Calidad de aguas. Uso y aprovechamiento*. UICB Editores.
- Cabrera, T., Hernández, E., & Gómez, J. (2017). *Determinación de nitritos y nitratos en el agua. Comparación e costos entre un flujo continuo y un método estandar*.

- Caho, A., & López, E. (2017). *Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI*. Producción + Limpia.
- Carrera, F., & Fierro, F. (2018). *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Eco Ciencia .
- Carrillo, E., & Lozano, R. (2018). *Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en el agua potable utilizando agar Chromocult*. Universidad Javeriana .
- Carrillo, M. (2019). *Evaluación y Tratamiento de Contaminantes Emergentes (Fármacos Ácidos) en aguas residuales mediante un Reactor SBRLF acoplado a Fotocatálisis*. México: mediante un Reactor SBRLF acoplado a Fotocatálisis.
- Castro, J. (2016). *Correspondencia entre indicadores físico-químicos y biológicos para el monitoreo sistemático de la contaminación en el río Tahuando*. Maestría en gestión sustentable de recursos naturales.
- Castro, M. (2014). *Indicadores de calidad del agua: Evolución y tendencias a nivel global*. Ingeniería solidaria.
- Caviedes, D., & Delgado, D. (2018). *Regulación ambiental sobre los productos farmacéuticos residuales en ambientes acuáticos*. Entornos Vol. 18.
- Cifuentes, G., & Osorio, R. G. (2015). *Diagnóstico físicoquímico, biológico y microbiológico de las aguas del embalse de la copa (Bollacá)*. Universidad de Boyacá.
- CNDH. (2018). *Estudio sobre protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos*. Mexico: Universidad Autónoma de Mexico.
- Dávila, J. (2020). *Evaluación de la presencia de paracetamol y su impacto en el agua del río Tahuando previo y posterior al tratamiento de la PETAR de Ibarra mediante la técnica de HPLC*. Ibarra: Pontificie Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.
- Díaz, T. (2018). *Caracterización y evaluación de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos en las aguas de la quebrada Colpamayo*. Universidad autónoma de Chota.

- Fernández, D. (2019). *Evaluación de la calidad de agua en la microcuenca del río Tutanangoza mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- García, A. (2020). *Evaluación de la concentración de contaminantes emergentes en el río Tahuando, en Ibarra Ecuador*. Quito: Universidad de la Fuerzas Armadas.
- Garzón, P. (2012). *Contaminantes emergentes en el agua, efectos y posibles tratamientos*. Producción + limpia .
- Gil, M., & Soto, A. (2015). *Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos*. Vol.7, No.2 - 52•73: Producción + Limpia.
- Gonzales, D., Caicedo, F., & Aguirre, R. (2019). *Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS, BMWP, en la quebrada la Ayurá* . Revista gestión y ambiente.
- Guardón, D. (2019). *Evaluación de la calidad de agua en los rios de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos*.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (2015). *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- Muñoz, F. (2021). *Estudio de las propiedades adsorptivas de residuos lignocelulósicos para la eliminación de irgasán, ibuprofeno, amoxicilina y paracetamol presente en residuos líquidos*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21344>.
- OPS. (2012). *Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación y agroquímicos en Apurímac y Cusco*. Lima: Fondo para el logro de los ODM.
- Peña, J. (2022). *Evaluación de la calidad de agua e integridad ecológica del Río Tahuando*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.
- Red Interamericana de Academias de Ciencia. (2017). *Desafíos del agua urbana en las Américas: perspectivas de las Academias de Ciencias*. UNESCO Office Montevideo.

- Revista Cubana de Farmacia. (2015). Paracetamol solución oral (acetaminofén). Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-75152015000300019#:~:text=En%20la%20insuficiencia%20renal%20pueden,h%20de%20su%20administraci%C3%B3n](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152015000300019#:~:text=En%20la%20insuficiencia%20renal%20pueden,h%20de%20su%20administraci%C3%B3n).
- Roldán, F. (2016). *Bioindicadores de la calidad de agua en Colombia*. Colombia : Revista colombiana de las ciencias exactas.
- Roldán, F. (2018). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia*. Universidad de Colombia .
- Roldán, F. (2018). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. Ediciones de la Universidad de Medellín.
- Roldán, F., & Pérez, A. (2016). *Los macroinvertebrados como indicadores de calidad del agua*. Revista de la Academia Colombiana de ciencias exactas .
- Rosero, J. (2021). *Estudio físico-químico de la calidad de agua del río tahuando mediante el cálculo del índice ICA*. Ibarra : Ponticia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra .
- Ruiz, A. (2013). *Crisis Mundial del agua*. Antioquia: Producción más limpia.
- Sánchez, B. (2019). *Evaluación de la toxicidad y riesgo ambiental por dos contaminantes emergentes, diclofenaco e ibuprofeno, en organismos bioindicadores del ecosistema dulceacuícola: Daphnia Magna (pulga de agua), Lemna gibba (lenteja de agua) y Paracheirodon Innesi*. Lima: Universidad científica del Sur.
- Secretaria Nacional del Agua. (2016). *Estrategia Nacional de calidad del agua*.
- Seóanez, C. (2019). *Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento*. Mundi prensa.
- Soni, H., & Thomas, S. (2015). *Assessment of surface water quality in relation to water quality index of tropical lentic environment, Central Gujarat, India*. International journal of environment.

- Toasa, R. (2019). *Validación de los métodos de ensayo para fenoles tensoactivos, sólidos suspendidos y totales*. Revista Ingenierías Universidad de Medellín .
- Torres, A., Cruz, E., & Patiño, J. (2019). *Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas para fuentes de agua de consumo humano*. Revista Ingenierías .
- UICN. (2018). *Guía de monitoreo participativo de la calidad del agua* .
- UNESCO. (2018). *Población, desafíos globales*. <https://www.un.org/es/global-issues/population>.
- Vásquez, I. (2015). *Uso de AINES en extracción de terceros molares en pacientes atendidos en la clínica de cirugía de la facultad piloto de odontología*. Guayaquil : Universidad de Guayaquil .
- Yogendra, K., & Puttaiah, E. (2018). *Determination of water quality index and sustainability of an urban waterbody in Shimoga Town*,. Taal2007: The 12th world lake conference (pp. 342-346).

## ANEXOS

### Anexo 1. Parámetros para la determinación del ICA

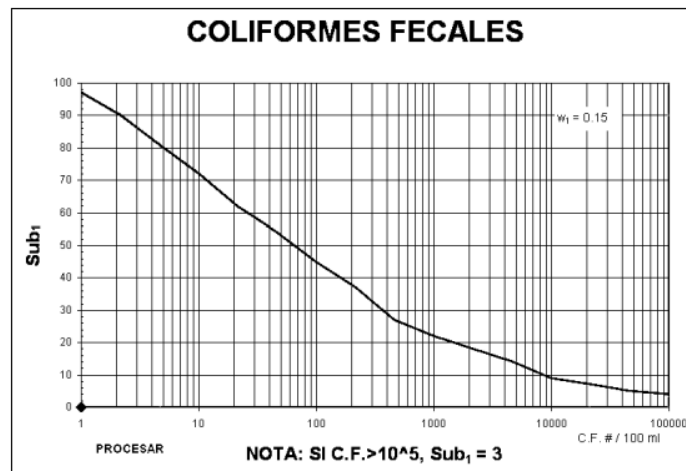


Figura 1 Valoración de la calidad de agua en función de Coliformes Fecales

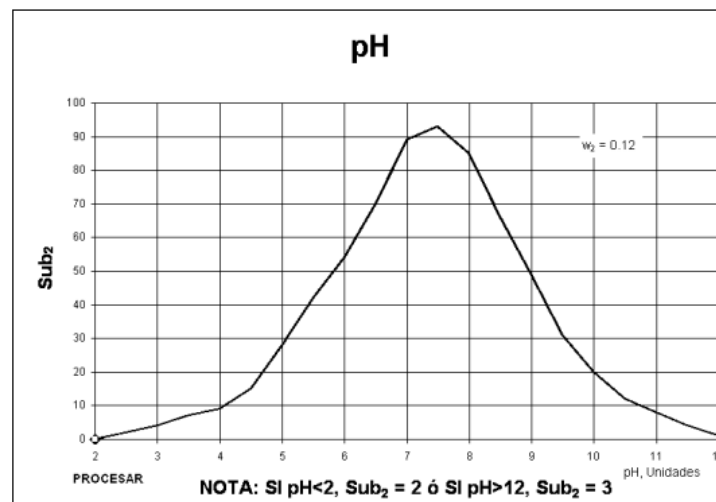
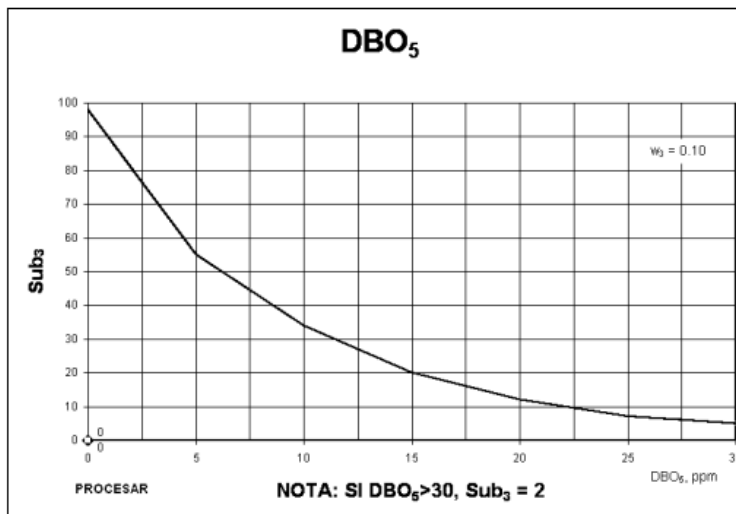


Figura 2 Valoración de la calidad de agua en función del pH

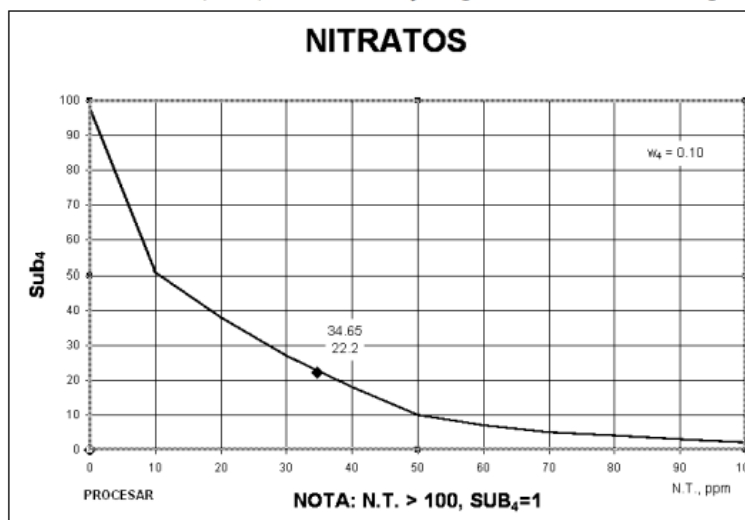
Si la DBO<sub>5</sub> es mayor de 30 mg/L el (Sub<sub>3</sub>) es igual a 2. Si la DBO<sub>5</sub> es menor de 30 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la **Figura 3** se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>3</sub>) de DBO<sub>5</sub> y se procede a elevarlo al peso w<sub>3</sub>.



**Figura 3** Valoración de la calidad de agua en función de la DBO<sub>5</sub>

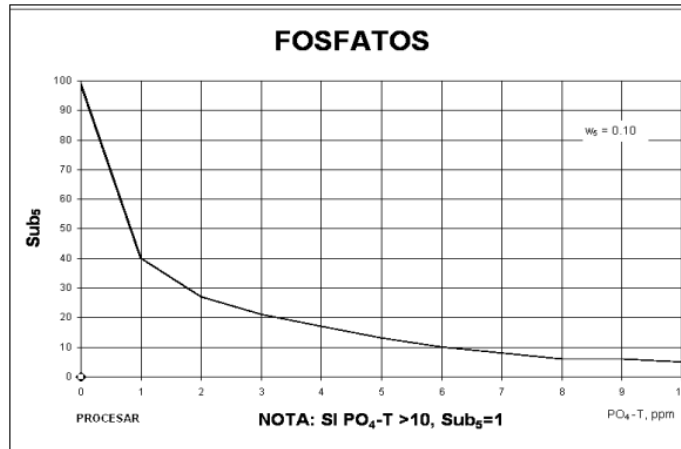
**calidad de agua en función de la DBO<sub>5</sub>**

Si Nitratos es mayor de 100 mg/L el (Sub<sub>4</sub>) es igual a 2. Si Nitratos es menor de 100 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la **Figura 4** se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>4</sub>) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso  $w_4$ .



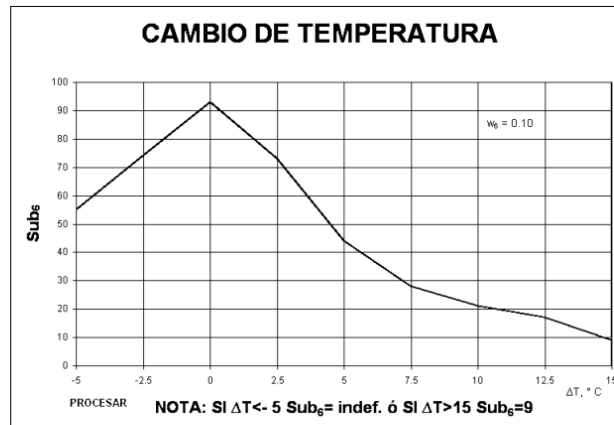
**Figura 4** Valoración de la calidad de agua en función del Nitrógeno

Si el Fosfatos es mayor de 10 mg/L el (Sub<sub>5</sub>) es igual a 5. Si el Fosfatos es menor de 10 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la **Figura 5** se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>5</sub>) y se procede a elevarlo al peso  $w_5$ .



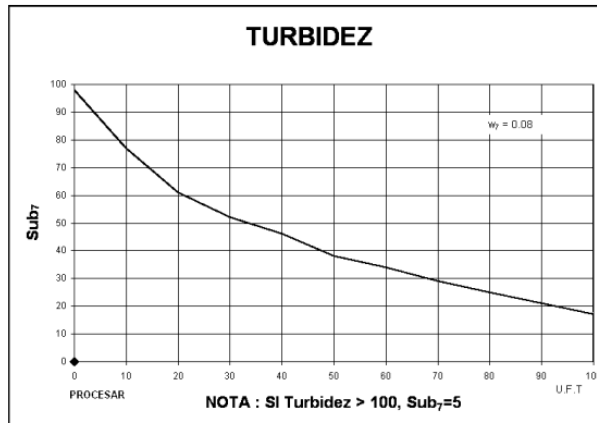
**Figura 5 Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo**

Para el parámetro de Temperatura (Sub<sub>5</sub>) primero hay que calcular la diferencia entre la T<sup>o</sup><sub>ambiente</sub> y la T<sup>o</sup><sub>Muestra</sub> y con el valor obtenido proceder. Si el valor de esa diferencia es mayor de 15°C el (Sub<sub>5</sub>) es igual a 9. Si el valor obtenido es menor de 15°C, buscar el valor en el eje de (X) en la **Figura 6** se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>6</sub>) de Temperatura y se procede a elevarlo al peso w<sub>6</sub>.



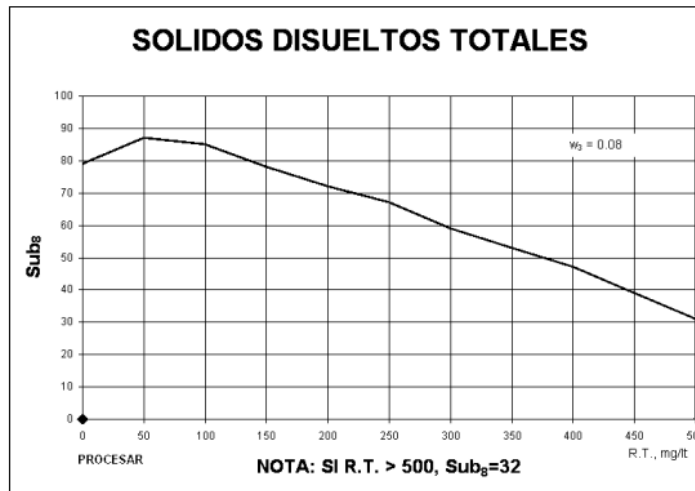
**Figura 6 Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura**

Si la Turbidez es mayor de 100 FAU el (Sub<sub>7</sub>) es igual a 5. Si la Turbidez es menor de 100 FAU, buscar el valor en el eje de (X) en la se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>7</sub>) de Turbidez y se procede a elevarlo al peso w<sub>7</sub>.



**Figura 7 Valoración de la calidad de agua en función de la Turbidez**

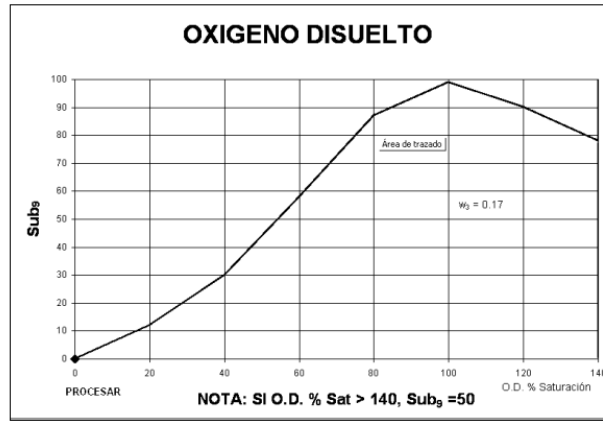
Si los Sólidos disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el ( $Sub_8$ ) es igual a 3, si es menor de 500 mg/L, buscar el valor en el eje de (X) en la **Figura 8** se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_8$ ) de Residuo Total y se procede a elevarlo al peso  $w_8$ .



**Figura 8 Valoración de la calidad de agua en función del Residuo Total**

Para el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) primero hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua. Para esto hay que identificar el valor de saturación de OD según la temperatura del agua (**Tabla 3**).

Luego si el % de Saturación de OD es mayor de 140% el ( $Sub_9$ ) es igual a 47. Si el valor obtenido es menor del 140% de Saturación de OD buscar el valor en el eje de (X) en la **Figura 9** se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_9$ ) de Oxígeno Disuelto y se procede a elevarlo al peso  $w_9$ .



**Figura 9** Valoración de la calidad de agua en función del % de Saturación del Oxígeno disuelto

**Anexo 2.** Resultado de la determinación de concentración y logaritmos

<b>PRIMERA SALIDA</b>					
<b>PUNTO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>TIEMPO DE RETENCIÓN 1.60 (± 0.05)</b>	<b>HEIGHT</b>	<b>LOGARITMO</b>	<b>CONCENTRACIÓN (ppm)</b>
<b>1</b>	ANGOCHAGUA	-	-	-	ND
<b>2</b>	PUNHUAICO	-	-	-	ND
<b>3</b>	TRES CASCADAS	-	-	-	ND
<b>4</b>	CANTERA SAN JOSÉ	-	-	-	ND
<b>5</b>	ROMERILLO ALTO	1,64	140	2,1461	0,1079
<b>6</b>	PIEDRA CHAPETONA	1,65	744	2,8714	4,0107
<b>7</b>	TAHUANDO FINAL	-	-	-	ND

<b>SEGUDA SALIDA</b>					
<b>PUNTO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>TIEMPO DE RETENCIÓN 1.60 (± 0.05)</b>	<b>HEIGHT</b>	<b>LOGARITMO</b>	<b>CONCENTRACIÓN (ppm)</b>
<b>1</b>	ANGOCHAGUA	1,6	171	2,2329	0,0170
<b>2</b>	PUNHUAICO	1,61	115	2,0607	0,0687
<b>3</b>	TRES CASCADAS	1,6	85	1,9294	0,0343
<b>4</b>	CANTERA SAN JOSÉ	1,6	83	1,919	0,0324
<b>5</b>	ROMERILLO ALTO	1,6	56	1,7481	0,0114
<b>6</b>	PIEDRA CHAPETONA	1,6	118	2,0718	1,0729
<b>7</b>	TAHUANDO FINAL	1,61	106	2,0253	0,0597

**Anexo 3.** Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma de calidad ambiental y de descargas de efluentes al recurso agua

REVISIÓN DEL ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA

**TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES FRÍAS O CÁLIDAS, Y EN AGUAS MARINAS Y DE ESTUARIOS**

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
Aluminio	Al	mg/l	0,1	0,1	1,5
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	mg/l	0,02	0,02	0,4
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	0,1	1,5
Difeniles policlorinados (PCBs)	Concentración total de PCBs.	µg/l	1,0	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,001	0,005
Cianuros	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,01	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/l	0,18	0,18	0,17
Cloro	Cl <sub>2</sub>	mg/l	0,01	0,01	0,01
Clorofenoles		mg/l	0,5	0,5	0,5
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,02	0,02	0,05
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	200	200	200
Cromo total	Cr	mg/l	0,05	0,05	0,05
Estaño	Sn	mg/l			2,00
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001	0,001
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5	0,5
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3	0,3
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1	0,1
Materia flotante	visible		Ausencia	Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,025	0,1
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	> 80% OD Saturación	> 60% OD Saturación	> 60% OD Saturación
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05	0,05
Plaguicidas organoclorados totales	Organoclorados totales	µg/l	10,0	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0	10,0
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/l			0,01
Potencial de Hidrógeno	pH		6,5 – 9	6,5 – 9	6,5 – 9,5
Selenio	Se	mg/l	0,01	0,01	0,01
Sulfuro de hidrógeno	H <sub>2</sub> S	mg/l	0,0002	0,0002	0,0002
Temperatura	°C		Condiciones naturales + 5	Condiciones naturales + 5	Condiciones naturales + 5
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5	0,5



**Anexo 4. Análisis in situ**



**Anexo 5. Análisis en laboratorio**



**Anexo 6.** Descripción de las actividades antrópicas cercanas a los puntos de muestreo

Número	Nombre	Coordenadas Norte UTM	Coordenadas Este UTM	Actividades antrópicas
1	Angochagua	824006	10027583	Actividad turística y agropecuaria 
2	Punhuaico	823223	10029819	Actividad agropecuaria, descarga de aguas servidas 
3	Tres Cascadas	823229	10032300	Actividad agropecuaria, poblaciones cercanas



Actividad agropecuaria, actividad minera, cantera.

4      **Cantera San José**      822845      10033901



Área poblada, actividad agropecuaria

5 **Romerillo alto** 822743 10035756



Área poblada

6 **Piedra Chapetona** 821547 10038798



7 **Tahuando Punto final** 819068 10044388

Actividad agrícola

