



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

“ESTUDIO FÍSICO-QUÍMICO DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO TAHUANDO
MEDIANTE EL CÁLCULO DEL ÍNDICE ICA”

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODESARROLLO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

LÍNEA 4: GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS
NATURALES.

SUBLÍNEA: AMBIENTE Y BIODIVERSIDAD

AUTOR: JOSÉ ENRIQUE ROSERO TORRES

ASESOR: MGS. MORAIMA CRISTINA MERA AGUAS

IBARRA, OCTUBRE - 2021

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR DE TESIS

Ibarra, 26 de octubre de 2021

Mgs. Moraima Cristina Mera Aguas

ASESORA

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes 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

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

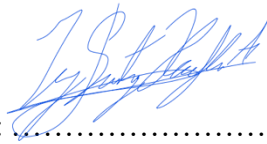
El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):



(f):

Mgs Moraima Cristina Mera Aguas

C.C.: 1001743721



(f):

Mgs. Santiago Xavier Mafla Andrade

C.C.: 1002658399



(f):

Mgs. Paola Alexandra Chávez Guerrero

C.C.: 1002744090

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo José Enrique Rosero Torres, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del 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 derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades 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, 26 de octubre de 2021



f):

José Enrique Rosero Torres

C.C.: 172092086-5

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo: José Enrique Rosero Torres, con CC: 172092086-5, autor del trabajo de grado intitulado: “Estudio físico-químico de la calidad de agua del río Tahuando mediante el cálculo del índice ICA”, previo a la obtención del título profesional de Ingeniero en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales “ECAA”.

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 del sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 26 de octubre de 2021



(f.)

José Enrique Rosero Torres

C.C. 172092086-5

DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación del Proyecto de Titulación: **“ESTUDIO FÍSICO-QUÍMICO DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO TAHUANDO MEDIANTE EL CÁLCULO DEL ÍNDICE ICA”**, 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 PUCE con fecha, octubre del 2021.

Ibarra, 26 de octubre de 2021



(f.)

José Enrique Rosero Torres

C.C. 172092086-5

ATORÍA

AUTORÍA

Yo, José Enrique Rosero Torres, portador de la cédula de ciudadanía N°1720920865, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del (los) autor (es), y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.



(f.)

José Enrique Rosero Torres

C.C. 1720920865

DEDICATORIA

A Dios,

Por brindarme la sabiduría para ver lo invisible,

La incertidumbre para creer lo increíble y

La vida para recibir lo imposible.

A mi padre Guido Napoleón Rosero Orbe

Quién con su destacado esfuerzo, junto con su ejemplo

Me ha inspirado a mí y a muchos.

A mi madre Sandra Emperatriz Torres Llerena

Que sin su apoyo, cariño y bondad inmensurable

no podría haber logrado nada en mi vida.

A mi hijo Ian David Rosero de La Cruz,

fuelle de mi inspiración y motivación

Para superarme diariamente.

José Enrique Rosero Torres

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar el agradecimiento infinito a mis
padres Sandra y Guido por haberme brindado
el inestimable soporte y la fortaleza durante
mi vida y etapa universitaria.

Expresar el más sincero agradecimiento al magister
Jorge Castro del Departamento de Calidad
Ambiental del GPI de Ibarra, por la apertura y asistencia
en este trabajo de investigación.

Extender la gratitud a la magister Moraima Mera
directora de este trabajo de investigación
quien ha impartido su valioso conocimiento
para el desarrollo y la finalización de mi tesis.

A todos mis compañeros y docentes que sin esperar nada a cambio
compartieron su conocimiento conmigo.

José Enrique Rosero Torres.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR DE TESIS	I
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	II
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS.....	III
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN	IVV
DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO	¡Error! Marcador no definido.
AUTORÍA	VIIVI
DEDICATORIA.....	VIIIVII
AGRADECIMIENTO.....	VIIIVIII
ÍNDICE DE CONTENIDO	IIX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE ANEXOS I.....	XVII
ÍNDICE DE ANEXOS II	XVIII
RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I.....	3
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPITULO II	6
OBJETIVOS	6
2.1 Objetivo general:.....	6
2.2 Objetivos específicos:.....	6
2.3 Pregunta directriz.	6
CAPÍTULO III.....	7
ESTADO DEL ARTE.....	7

3.1 Marco legal.....	7
3.1.1 Constitución del Ecuador.	7
3.1.2 Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, medio ambiente, libro VI.....	8
3.2 Aspectos Generales para el Estudio de una Microcuenca Hidrográfica	8
3.3. Definición de Variables National Sanitation Foundation (NSF).	9
3.4 La Microcuenca del Río Tahuando	11
3.4.1 La Autodepuración de una Microcuenca.....	12
3.4.2 Contaminación en Microcuencas.	12
3.4.3 Capacidad de Autodepuración de la Microcuenca del río Tahuando.	12
3.3.4 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ibarra (PTAR).	16
3.6 Factores Constitutivos de una Microcuenca Hidrográfica.....	18
3.6.1 Cambios y Predicciones de la Microcuenca del río Tahuando.	18
3.6.2 Características Físicoquímicas de una Microcuenca Hidrográfica.....	19
3.6.3 Microorganismos de aguas residuales.....	21
3.6.4 Índices de Calidad relacionados con las Características Físicoquímicas Y bacteriológicas del Agua.	22
3.7 Alcance del Análisis de Variables de la Calidad de Agua.....	23
3.8 Método Estadístico para el Análisis de Datos	23
3.9 Caracterización del río Tahuando. Indicadores Físicoquímicos Y Biológicos Año 2016.....	25
3.9.1 Correspondencia De Los Indicadores Físicoquímicos De Estudios Realizados En El Río Tahuando En El 2016.	26
CAPÍTULO IV.....	33
MATERIALES Y MÉTODOS	33
4.1 Materiales, equipos y reactivos.....	33
4.1.1 Materiales utilizados en este ensayo:.....	34
4.1.2 Equipos utilizados.	35
4.1.3 Implementos de Protección Personal y Software Utilizados.....	36
4.2. Variabilidad Espacial en la Calidad del Agua en los puntos Representativos de Muestreo	37

4.2.1 Identificación de la variabilidad espacial de los Puntos Representativos.....	37
4.3 Método Empleado para la Toma De Muestras y recolección de Datos.....	39
4.3.1 Delimitación Temporal para la toma de Datos.....	40
4.3.2 Análisis de la Calidad de Agua y cálculo de los Índices de la Calidad del Agua.....	40
4.3.3 Análisis de Muestras In Situ.....	41
4.3.4 Análisis de Muestras Ex Situ.....	41
4.4. Cálculo del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF (Fundación Nacional de Saneamiento).....	48
4.4.1 Procesamiento y ponderación de datos en la plataforma de la Fundación Nacional de Ciencias de Estados Unidos.....	49
4.5. Monitoreo de la Calidad de Aguas Superficiales y calculadora del Índice de Calidad de Aguas (ICA).....	49
4.6 Análisis Estadístico de los Datos.....	51
4.6.1 Prueba T-Student.....	51
CAPÍTULO V.....	52
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
5.1 Resultados de variables Físicas, Químicas y Microbiológicas del río Tahuando.....	52
5.1.1 Variables Físicas.....	52
5.1.2 Variables Químicas.....	53
5.1.3 Variables Microbiológicas.....	54
5.2 Resultados de Variables Físicas, Químicas y Microbiológicas de los Puntos de Muestreo.....	55
5.3 Variabilidad Espacial de los Puntos Representativos de la Contaminación de la Microcuenca del río Tahuando.....	65
5.3.1 Descripción de los Indicadores Físicoquímicos Recolectados en Campo de los 5 Puntos Determinados.....	65
5.4 Resultados del Índice de Calidad de Aguas NSF en el río Tahuando.....	73
5.4 Comparación de los Índice de Calidad del Agua ICA de los 5 Puntos Determinados.....	75
5.4.1 Comparación del muestreo realizado con el índice de calidad ICA del año 2016.....	84
5.6 Socialización de los resultados.....	85
CAPÍTULO VI.....	88

CONCLUSIONES.....	88
CAPÍTULO VII.....	90
RECOMENDACIONES	90
CAPITULO VIII.....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
ANEXOS I.....	96
ANEXOS 2	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Peso relativo para los parámetros del índice de calidad de aguas NSF de Brown	10
Tabla 2.	Rango de clasificación para los valores del índice de calidad de aguas NSF de Brown.....	10
Tabla 3	Caudales a tratarse con el 100% de funcionalidad de la planta de tratamiento de aguas residuales Ibarra.....	16
Tabla 4	Indicadores físico-químicos y biológicos seleccionados para la determinación de la calidad del agua del río Tahuando evaluados en el año 2016.	26
Tabla 5.v	Materiales de campo y Laboratorio utilizados en el proceso de recolección y análisis de datos principalmente de calidad de aguas.	34
Tabla 6.	Equipos de laboratorio y campo requeridos en el proceso de recolección y análisis de datos para el presente ensayo.....	35
Tabla 7.	Detalle del software utilizado y equipo de protección personal empleado para mantener la seguridad del operario.....	37
Tabla 8.	Nutrientes para la preparación de las soluciones para obtener DBO al quinto día una vez sea inoculada la dilución.....	45
Tabla 9.	Medias de los parámetros físicos obtenidos en el muestreo realizado	52
Tabla 10	Medias de los parámetros químicos obtenidos en el muestreo realizado	53
Tabla 11.	Medias de los parámetros microbiológicos obtenidos en el muestreo realizado.....	54
Tabla 12.	Comparación de los parámetros estudiados con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua.	55
Tabla 14.	Comparación de los parámetros estudiados con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua.	59
Tabla 15.	Comparación de los parámetros estudiados con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua.	61
Tabla 16.	Comparación de los parámetros estudiados con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua.	63
Tabla 17.	Índice de Calidad de Aguas NSF del río Tahuando por puntos de muestreo.....	74
Tabla 18.	Descriptivos del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Romerillo.....	75
Tabla 19.	Comparación del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Romerillo.....	76
Tabla 20.	Descriptivos del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Guayabillas	77

Tabla 21. Comparación del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Guayabillas	78
Tabla 22. Descriptivos del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Puente Rojo.....	78
Tabla 23. Comparación del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Puente Rojo.....	79
Tabla 24. Descriptivos del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo 17 de julio.....	80
Tabla 25. Comparación del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo 17 de Julio.....	81
Tabla 26. Descriptivos del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Tahuando final.....	83
Tabla 27. Comparación del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Tahuando final.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Carnaval de Romerillo, lugar declarado patrimonio sagrado indígena en el año 2017 por los presidentes del pueblo Karanki y Natabuela.....	11
<i>Figura. 2.</i> Zonas de autodepuración de un río y vertido de efluente de aguas negras. Nota: Oxígeno disuelto (OD) y Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)	14
<i>Figura 3</i> Filos de comunidades microbianas de ocho muestras de aguas residuales sin tratar de dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).....	21
<i>Figura 4</i> Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en el río Tahuando en el periodo Enero-junio del año 2016.	27
<i>Figura 5.</i> Cantidad de Coliformes Fecales (UFC/100ml) presentes en el río Tahuando en el periodo Enero-junio del año 2016.....	28
<i>Figura 6</i> Demanda bioquímica oxígeno (mg/L) presentes en el río Tahuando en el periodo Enero-junio del año 2016.	29
<i>Figura 7</i> Cantidad de nitratos (ppm) presentes en el río Tahuando en el periodo Enero-junio del año 2016.....	30
<i>Figura 8</i> Cantidad de fosfatos (ppm) presentes en el río Tahuando en el periodo Enero-junio del año 2016.....	30
<i>Figura 9</i> Cantidad de turbiedad (NTU) presentes en el río Tahuando en el periodo Enero-junio del año 2016.....	31
<i>Figura 10</i> Cantidad de Sólidos totales (NTU) presentes en el río Tahuando en el periodo Enero-junio del año 2016.....	32
<i>Figura 11</i> Potencial hidrogeno del agua presente en el río Tahuando en el periodo Enero-junio del año 2016.....	32
<i>Figura 12.</i> Equipo de campo utilizados en el punto de muestreo “Tahuando final” Nota: los frascos de vidrio están expuestos solamente con fines representativos.	36
<i>Figura 13.</i> Puntos representativos de muestreo en la microcuenca del río Tahuando	38
<i>Figura 14.</i> Disolución del reactivo NO ₃ -2 para la determinación de nitratos en el laboratorio de química de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra.	42
<i>Figura 15.</i> Comparación de dos muestras una tomada en el primer punto “Romerillo y la otra en el punto 17 de Julio.....	43
<i>Figura 16.</i> las placas Petrifilm™ inoculadas a +25°C con 1ml de muestra de agua, para determinar los coliformes fecales.	44
<i>Figura 17.</i> Medias de los parámetros físico-químicos obtenidas in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Romerillo	65

<i>Figura 18.</i> Medias de los parámetros físico-químicos obtenidas in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Guayabillas	67
<i>Figura 19.</i> Medias de los parámetros físico-químicos obtenidas in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Puente Rojo.....	69
<i>Figura 20.</i> Medias de los parámetros físico-químicos obtenidas in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo 17 de Julio.....	70
<i>Figura 21.</i> Medias de los parámetros físico-químicos obtenidas in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Tahuando Final.....	72
<i>Figura 22.</i> Medias del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Romerillo.....	75
<i>Figura 23.</i> Medias del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Guayabillas	77
<i>Figura 24.</i> Medias del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Puente Rojo.....	79
<i>Figura 25.</i> Medias del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo 17 de Julio	81
<i>Figura 26.</i> Medias del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Tahuando final.....	83
<i>Figura 27.</i> Medias del índice de calidad del año 2016 vs 2021	84
<i>Figura 28.</i> Socialización de la investigación, oratoria impartida por el autor en el auditorio de la prefectura de Imbabura.....	86
<i>Figura 29</i> comisión técnica en pro de la recuperación del río Tahuando, G.A.D. Ibarra, octubre 2021	87

ÍNDICE DE ANEXOS I

Anexos 1.1: Resultados estadísticos de los indicadores físico- químicos	96
Anexo 1.2. Comparación de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Romerillo.....	97
Anexo 1.3. Descriptivos de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Guayabillas	98
Anexo 1.4 Comparación de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Guayabillas	99
Anexo 1.5. Descriptivos de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Puente Rojo.....	100
Anexo 1.6 Comparación de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Puente Rojo.....	101
Anexo 1.7. Descriptivos de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo 17 de julio.	102
Anexo 1.8 Comparación de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo 17 de Julio.....	103
Anexo 1.9 Descriptivos de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Tahuando final.....	104
Anexo 1.10 Comparación de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Tahuando final.	105
Anexo 1.11 Locación espacial de las 24 estaciones de preselección para el sistema de muestreo en el río Tahuando realizado por Castro, J. (2016).....	106

ÍNDICE DE ANEXOS II

Anexo 2.1. Medición de pH y temperatura in situ con el uso del potenciómetro	107
Anexo 2.2 Registro de Conductividad eléctrica	108
Anexo 2.3. Toma de oxígeno disuelto y temperatura del agua	109
Anexo 2.4. Procesamiento del parámetro turbiedad mediante un turbidímetro portátil.....	109
Anexo 2.5. Análisis de Nitratos, sulfatos en laboratorio.	110
Anexo 2.6. Cálculo de fosfatos PO ₄ -P y Nitratos NO ₃ en espectrofotómetro	110
Anexo 2.7. Cálculo de la demanda biológica de oxígeno en muestras de agua del río Tahuando.....	111
Anexo 2.8 Registro del peso seco y húmedo de los crisoles para el cálculo de sólidos totales de las muestras de agua.....	112
Anexo 2.9. Inoculación de bacteria E. Coli mediante membranas petrifilm 3m.....	112
Anexo 2.10 Etapa de desarenado y sus elementos en el sistema del tratamiento de agua de la PTAR-Ibarra.....	113
Anexo 2.11. Tabla N° 1 Tabla 8 del acuerdo ministerial 097-A Anexos de Normativa,.....	114
Anexo 2.12. Tabla 9 del acuerdo ministerial 097-A Anexos de Normativa, Reforma al TULSMA. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	115
Anexo 2.13 Análisis de resultados en el punto Romerillo.....	116
Anexo 2.14 Análisis de resultados en el punto Guayabillas.....	117
Anexo 2.15 Análisis de resultados en el punto Puente Rojo	118
Anexo 2.16 Análisis de resultados en el punto 17 de Julio	119
Anexo 2.17 Análisis de resultados en el punto Tahuando final.	120
Anexo 2.18 Preguntas de la encuesta de socialización	121
Anexo 2.19 Capturas de pantalla de la socialización a docentes y estudiantes de la PUCE-SI.....	122
Anexo 2.20 Oficio para socialización en GAD Ibarra.	123
Anexo 2.21 Socialización en la Prefectura de Imbabura.....	123
Anexo 2.22 Curvas en función de los parámetros en los que se basa la NSF para el cálculo ICA....	124
Curva de función del pH (Índice de Calidad de Agua – Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos).....	124

RESUMEN

Durante las últimas cuatro décadas se han utilizado diversas técnicas para calcular el índice de calidad ambiental. En 1970 se desarrolló la técnica Delphi para formular un Índice de Calidad de Agua (ICA) que se ha sido considerado por expertos y la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) de los Estados Unidos. El presente estudio calculó la calidad de agua del río Tahuando ubicado en la ciudad de Ibarra (Ecuador) utilizando esta herramienta y examinando los parámetros: temperatura, turbiedad, oxígeno disuelto, sólidos totales, nitritos, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno, pH y coliformes fecales mismos que fueron comparados con un estudio similar realizado en el año 2016, con el objetivo de contrastar los estados de calidad de esta fuente hídrica. En conclusión, se evidenció un decremento de la calidad de agua en los sitios de estudio mostrando que la calidad del agua del río Tahuando se encuentra dentro del rango de categoría “Media” según el ICA-NSF.

PALABRAS CLAVE: ICA, Calidad de agua, Río Tahuando, ciudad de Ibarra

ABSTRACT

During the last four decades, various techniques have been used to calculate the environmental quality index. In 1970 the Delphi technique to formulate a Water Quality Index (AQI) that has been considered by experts and the National Sanitation Foundation (NSF) of the United States. The present study calculated the water quality of the Tahuando river located in the city of Ibarra (Ecuador) using this tool and examining the parameters: temperature, turbidity, dissolved oxygen, total solids, nitrites, phosphates, biochemical oxygen demand, pH and coliforms. same feces that were compared with a similar study carried out in 2016, with the aim of contrasting the quality states of this water source. In conclusion, a decrease in water quality was evidenced at the study sites, showing that the water quality of the Tahuando River is within the “Medium” category range according to the ICA-NSF.

KEY WORDS: ICA, Water quality, Tahuando River, Ibarra city

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El agua en fase líquida crea la vida y junto a la atmósfera hacen posible la formación de características físicas y biológicas, así como las conocemos. El agua permite una alta gama de posibilidades que involucran a las interacciones de los seres vivos con diversos sistemas ecológicos como pasa en una microcuenca que entre sus múltiples beneficios sirve de canal para el intercambio de alimentos o también la movilización de todas las especies incluyendo al hombre que ha hecho uso de este recurso históricamente para su evolución y supervivencia (Ostrom, 2014).

El río Tahuando se encuentra dentro de los principales ríos del cantón Ibarra, nace en las rinconadas orientales de la parroquia Angochagua y tiene una extensión de 13 km aproximadamente desde Pesillo hasta la desembocadura en el río Ambi. Su microcuenca atraviesa las parroquias de Angochagua, San Francisco y el Sagrario. Parte del caudal de este río desemboca en la laguna de Yahuarcocha y en su totalidad termina en la unión con el río Ambi que proviene de las ciudades ubicadas al sur oeste de la ciudad como Atuntaqui y Chaltura (Goldstein y Stein B., 1988).

Según el estudio de Rosero y Rosales, (2018) se estableció que a pesar de la capacidad de auto regeneración y sucesión hídrica natural que poseen los ríos, este en particular no ha podido tolerar el agua residual contaminada en grandes cantidades proveniente del sistema de alcantarillado de la ciudad de Ibarra, convirtiéndolo en un sumidero de desechos de aguas residuales domésticas y comerciales etc. Cabe indicar, que no existe una cultura ambiental en la población y el aporte de desechos sólidos se incrementa diariamente junto a vertidos de aguas

negras que en algunos sitios se descargan directamente privando al río de mantener un estado ecológico natural.

La cantidad de oxígeno disuelto que se necesita para su depuración está ligado a factores como: el consumo de oxígeno de los microorganismos, temperatura, cantidad de algas, salinidad y época del año muy alta lo que afecta a la cadena trófica de todo el sistema lacustre causando un inminente decremento de la biodiversidad (Quiroz, 2018).

A través del tiempo la calidad del agua del río Tahuando ha variado debido a muchos factores, entre ellos el crecimiento poblacional y el incremento en la búsqueda de lugares de esparcimiento que vinculen a la recreación con espacios naturales. La calidad de agua del río se ha convertido en un problema de sanidad pública, lo que ha llamado la atención de instituciones como la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA-I); quienes para reducir el impacto ambiental en la microcuenca del río Tahuando el 27 de septiembre de 2018 se llevó a cabo la inauguración de la denominada la Planta de Tratamiento de Aguas residuales (PTAR) que según los detalles técnicos trata el 90 por ciento del caudal de aguas residuales servidas que provienen de los colectores Ajaví y avenida Carchi que suman 416 litros de agua por segundo. La eficiencia de tratamiento de un caudal de punta es de 3.312 m³/h. (Empresa municipal de agua potable Ibarra, 2018).

Algunos autores como Bolaños (2020), recomiendan realizar monitoreos anuales sobre el estado de la calidad del río Tahuando y en algunas áreas críticas para el estudio se establecen estaciones para monitorear la calidad de agua del río, dichos puntos son considerados mediante un análisis multicriterio bajo la aplicación de una jerarquía de parámetros como: factibilidad, impacto medioambiental y afectación sanitaria, que fueron supuestos desde la confluencia del río iniciando en la quebrada Guayrapungu sector Zuleta hasta su desagüe en el río Ambi.

El monitoreo favoreció la obtención de datos actualizados y benefició al cálculo de los indicadores de calidad de agua (ICAS) bajo las normativas de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) y su posterior comparación con los límites máximos permisibles (Anexo 2.11, Tabla 8) Estos resultados determinarán el cambio del estado natural del río, y establecen la capacidad de autodepuración del mismo (Castro, 2016).

Este ensayo al estar implicado en argumentos de conservación y ecología en aras de la población; ha discernido en que la importancia fundamental para que toda la información o valores de contaminación obtenidos, se conviertan en conocimiento, es necesario aplicarlos en el bienestar del hombre el cual por su desconocimiento tiende a deteriorar espacios naturales invaluable. Por consiguiente, se ha planteado la socialización de los resultados a la sociedad involucrada con objeto de concientizar sobre la situación ambiental actual del río Tahuando.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1 Objetivo general:

Monitorear la calidad de agua del río Tahuando en las estaciones: Romerillo, Puente de Guayabillas, Puente rojo de la Victoria, La piedra chapetona y desembocadura en el río Ambi, mediante el análisis físico-químico de la calidad del agua (NSF) que permita comparar la tendencia temporal con datos del 2016.

2.2 Objetivos específicos:

- Registrar el índice de calidad de agua como método estandarizado (NSF), en distintas estaciones del río Tahuando mediante la toma de muestras para predecir el grado de contaminación y la calidad integral del agua.
- Realizar un análisis integral a través del tiempo, del índice de calidad ICA, comparando los valores obtenidos en el año actual y el año 2016 para inferir sobre las tendencias del deterioro o recuperación del río en donde están localizadas las estaciones.
- Socializar los resultados y conclusiones obtenidos a la comunidad involucrada.

2.3 Pregunta directriz.

¿Existe un cambio en los niveles del índice de calidad de agua de la microcuenca entre los datos registrados del año 2016 y la presente investigación (2021)?

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

El agua es indispensable para la vida; incluso en el espacio lo encontramos en grandes cantidades. El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo, de forma atómica algunas ocasiones lo encontramos como (H) y en otras de forma molecular como (H₂) que no es más que la totalidad de masa visible en la galaxia. A pesar de la distribución de este elemento sus características tienen más utilidades para los seres vivos como la dilatación anómala y la capilaridad; haciendo posible que el agua en forma de clorofila pueda moverse libremente de manera ascendente en contra de la gravedad gracias a que las fuerzas de adhesión son mayores a las de cohesión en el agua (Noya, 2020).

El agua tiene una alta sensibilidad a la reacción de estímulos físicos convirtiéndola en un medio vulnerable, pero a la vez apta para abarcar vida, un ejemplo es el proceso de congelación en medios gélidos con temperatura atmosférica baja, la que contrae la estructura del líquido dilatándolo hasta solidificarlo en el punto de congelación, por eso el hielo es menos denso que el agua y flota sobre ella. Este velo congelado engloba una amplia existencia de vida por debajo en medios comprometidos climáticamente (Sagan, 2000).

3.1 Marco legal

Este apartado expone la normativa actual vigente de la república del Ecuador que comprende a la microcuenca.

3.1.1 Constitución del Ecuador.

TÍTULO PRIMERO ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL ESTADO.

Capítulo primero Principios fundamentales

Art. 3.- Son deberes primordiales del Estado:

1. Garantizar sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos al acceso en particular la educación, la salud, la alimentación, la seguridad social y el agua para sus habitantes.

3.1.2 Reforma Texto Unificado legislación Secundaria, medio ambiente, libro VI.

En este Acuerdo ministerial 97 en estado vigente rige la norma de calidad ambiental y de descargas de efluentes decreta los apartados siguientes de acuerdo al estudio del presente trabajo.

Normas generales para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado

Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado, provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos, así como el de aplicadores de envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.

Las descargas líquidas provenientes de sistemas de potabilización de agua no deberán disponerse en sistemas de alcantarillado, a menos que exista capacidad de recepción en la planta de tratamiento de aguas residuales, ya sea en funcionamiento o proyectadas en los planes maestros o programas de control de la contaminación, en implementación.

3.2 Aspectos Generales para el Estudio de una Microcuenca Hidrográfica

Para entender el valor de una micro cuenca hidrográfica es importante mantener un enfoque social, cultural económico y político por encima de la visión física e hidrológica, por lo tanto, una micro cuenca hidrográfica se detalla cómo la unidad geográfica en donde cierta cantidad

de personas maneja y emplea los recursos disponibles tales como suelo agua y vegetación (Rosero, 2018).

En otro caso la escases de estudios sistemáticos sobre los aspectos teóricos y prácticos en calidad de aguas, se da originalmente por la falta de la aplicación de las políticas que en muchos casos resultan incoherentes en lo que concierne al uso y conservación de los recursos naturales involucrados y en la poca importancia de los recursos humanos entrenados para solventar los estudios, con objeto de comprender los sistemas naturales ecológicos exclusivamente en lugares donde destaca la extensión de cuencas hidrográficas (Isch López, 2018).

3.3. Definición de Variables National Sanitation Foundation (NSF).

El índice de Calidad de Agua National Sanitation foundation (NSF) de los Estados Unidos, se estableció por medio de la técnica de investigación “Delphi” de la “Rand Corporation’s que tras valorar sistemáticamente ciertos parámetros fueron incluidos, y ponderados según su relevancia para la elección de las variables. Fueron identificadas: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, DBO5, nitratos, fosfatos, desviación de la temperatura, turbidez y sólidos totales. (Arrieta Pastrana, ElJaiek Urzola, Álvarez Rebollo, & Rojas Giraldo, 2013)

Tabla 1.

Peso relativo para los parámetros del índice de calidad de aguas NSF de Brown

i	Sub i	Wi
1	Coliformes fecales	0,16
2	pH	0,11
3	DBO5	0,11
4	Nitratos	0,10
5	Fosfatos	0,10
6	Temperatura	0,10
7	Turbidez	0,08
8	Sólidos disueltos totales	0,07
9	Oxígeno disuelto	0,17

Nota: las unidades del peso relativo de los parámetros (Wi) no tienen unidades

Fuente: (Brown R M, 1970)

Para la interpretación de los datos ICA obtenidos de la plataforma virtual de la NSF es necesario realizar una comparación equivalente como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2.

Rango de clasificación para los valores del índice de calidad de aguas NSF de Brown.

Rango	Escala de color	Clasificación de la escala
91-100	Azul	Excelente
71-90	Verde	Buena
51-70	Amarillo	Media
26-50	Naranja	Mala
0-25	Rojo	Muy Mala

Fuente: (Brown R M, 1970).

3.4 La Microcuenca del Río Tahuando

En una microcuenca al pasar el tiempo es normal que exista un cambio en la fisiología del espacio ocupado, gracias a los factores climáticos demográficos y políticos que influyen directamente en una permutación teniendo en cuenta que puede ser positiva o negativa en ciertos aspectos; cómo lo es el uso recreativo de sitios localizados que en el caso del río Tahuando se han venido realizando eventos festivos como el carnaval de Romerillo el que ha ganado renombre a nivel local, porque además de ser un espacio de distracción y pasatiempo, ha sido considerado por las comunidades indígenas Karanki y Natabuela como un espacio sagrado en el que se realizan ceremonias ancestrales en fechas importantes para ellos, que actualmente únicamente se practican en este lugar mientras que hace algún par de décadas se las podría haber realizado en toda la confluencia del río Tahuando (Universo, 2017).



Figura 1 Carnaval de Romerillo, lugar declarado patrimonio sagrado indígena en el año 2017 por los presidentes del pueblo Karanki y Natabuela.

Fuente: El Universo, (2017).

3.4.1 La Autodepuración de una Microcuenca.

La autodepuración de un cuerpo de agua es la serie de fenómenos físicoquímicos como la transferencia de masa del oxígeno en la interfase aire-agua que influye directamente sobre la concentración de oxígeno elevando o disminuyendo sus niveles. El oxígeno disuelto ayuda a la descomposición de material especialmente orgánico en el cuerpo de agua mediante microorganismos aeróbicos y ciertas algas acuáticas (Rojas, 2013).

3.4.2 Contaminación en Microcuencas.

Cardona (2003), analizó la calidad y riesgo de la contaminación presente en la red hídrica del río Soledad, valle de Ángeles, Honduras, el estudio se llevó a cabo en 2 meses durante la época lluviosa y la seca para tener mayor representatividad de la calidad y se analizaron los ICA como resultado se determinó indicadores de deterioro presentando índices de contaminación agroquímica (IPCAS), Índice de Contaminación por la población (ICP) e Índice de Vulnerabilidad Institucional (IVIS). Con resultados de marginamiento social con sistema de alcantarillado deshabilitado para liberar de forma controlada.

Según Martínez (2006), en su artículo expresa cuáles son los principales métodos para analizar el agua y cuáles son sus factores más importantes en la caracterización de agua de origen residual y en el control de aguas o lodos negro. Siendo los índices de calidad de agua (ICAS) los métodos normalizados de análisis de agua.

3.4.3 Capacidad de Autodepuración de la Microcuenca del río Tahuando.

El alcance de autodepuración de una microcuenca dependerá de tres factores principales: el caudal que establecerá la capacidad de dilución y varía según la cantidad y tipo de vertidos que tenga, la turbulencia del agua que se encarga de aportar oxígeno disuelto al medio y la

naturaleza y condiciones de posibles vertidos que probablemente disminuya los niveles de la concentración de oxígeno.

En la investigación de Chaparro S. (2020). Determinación de la capacidad de autodepuración de un tramo del río Tunjuelo respecto al pH y la demanda biológica de oxígeno. Establece 4 tipos de zonas de depuración con diferentes mecanismos dependiendo del nivel de contaminación de la calidad del agua y su autodepuración.

Zona De Degradación:

En esta área se descargan efluentes con altas concentraciones generalmente de aguas negras pertenecientes a la población, que está sujeta al uso del cuerpo de agua en este caso la microcuenca del río Tahuando que alberga cierta cantidad de especies que están condicionadas por el uso de oxígeno, en esta zona se tiene los niveles más bajos de oxígeno disuelto debido a la pérdida abrupta de la calidad del agua sin embargo hay especies que se han vuelto más tolerantes y resistentes a determinadas condiciones expuestas , por la contaminación. (Chaparro, 2020)

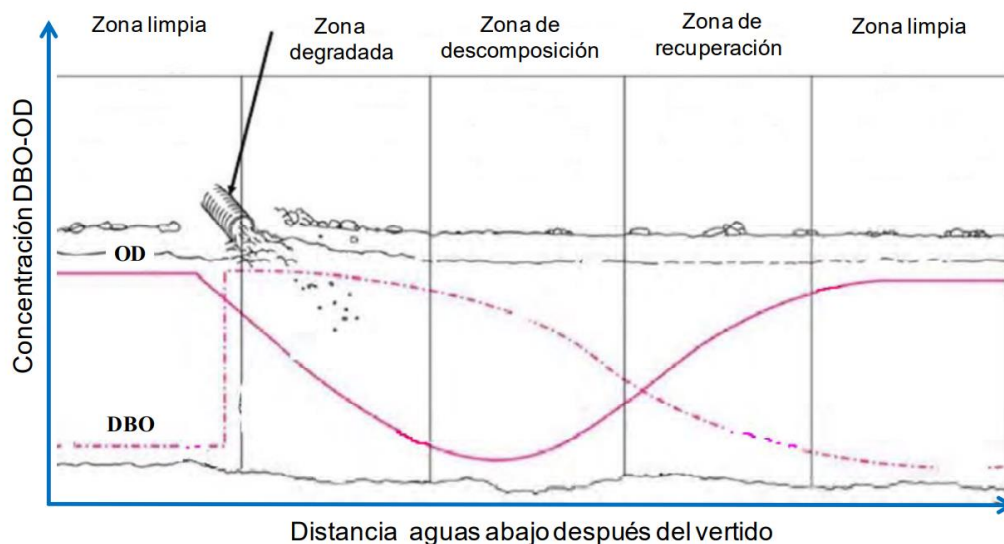


Figura. 2. Zonas de autodepuración de un río y vertido de efluente de aguas negras.

Nota: Oxígeno disuelto (OD) y Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)

Elaborado por: El autor.

Se puede observar que debido a la alta demanda de oxígeno por los microorganismos en la zona de degradación los niveles de oxígeno disuelto tienden a bajar, mientras que en la zona de recuperación sube, así hasta nivelar el oxígeno disuelto que corresponden en las siguientes zonas (Rojas, 2013).

Zona de Descomposición:

Los niveles de oxígeno disuelto bajan en relación a los microorganismos y el agua se torna espumosa y con sólidos igualmente suspendidos de igual forma empieza a dar lugar a la degradación microbiana causando la desaparición de formas de vida vulnerables ya que se reducen los niveles de oxígeno e incrementan los de sulfuro de hidrogeno, nitrógeno y ácido sulfhídrico lo que le da una característica de un hedor desagradable.

Zona de Recuperación:

Debido a ciertas características como las de la turbulencia el agua logra oxigenar y a sintetizar la contaminación elevando los niveles de la calidad del agua haciendo que los sistemas naturales de la biodiversidad se despejen y logre una sucesión natural con la activación de procesos fotosintéticos.

Zona Limpia:

Según Félez (2009), los niveles de oxígeno disuelto (OD) se regulan hasta contener niveles normales. Y los factores que tienen una dependencia con la velocidad de autodepuración son:

- **Fluidez del agua:** Entre más veloz sea el movimiento la eficiencia en su oxigenación será optima
- **Profundidad del cuerpo de agua:** entre más profundo sea menos eficiencia de oxigenación tendrá esto se debe a los bajos niveles de oxígeno disuelto (OD) en lo más hondo.
- **Plano superficial:** Entre más área más contacto tendrá con el aire causando una oxigenación más eficiente causando un incremento en el cambio masa-aire/agua.

- Toxicidad freática: esto determina que, entre más cantidades de contaminación, se obtendrá una ausencia o presencia de microorganismos dependiendo la característica de las alteraciones que producen (Félez, 2009).

3.3.4 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ibarra (PTAR).

La planta de tratamiento de aguas residuales de Ibarra se financió mediante un crédito del gobierno español y se inauguró el 27 de septiembre de 2018. Su infraestructura está ubicada junto al río Tahuando bajo el mantenimiento y operación de la empresa municipal de agua potable Ibarra (EMAPA-I, 2018).

Según Valverde, (2019), quién realizó un manual de procesos de mantenimiento para los equipos electromecánicos de la planta de tratamiento, describió a los equipos electromecánicos de la siguiente forma:

Tabla 3

Caudales a tratarse con el 100% de funcionalidad de la planta de tratamiento de aguas residuales Ibarra.

Detalle	Caudal
Caudal horario	1.656 m ³ /h
Caudal diario	39.744 m ³ /d
Caudal de punta (diseño primario)	3.312 m ³ /h
Caudal máximo (diseño pre tratamiento)	6.624 m ³ /h

Fuente: (EMAPA-I, 2018)

Pre Tratamiento

Pozo de llegada donde se recolecta el afluente, se recoge todo el material de gran volumen funcionando como criba luego se envía a los canales de desbastes.

Desbaste.

Es una sección de filtrado de partículas grandes que cuenta con 4 conductos primordiales de afluencia del agua y un conducto extra de "by-pass"

Desarenado.

Esta etapa perteneciente al pre tratamiento del agua residual del río Tahuando se encuentra en un espacio abierto y tiene como finalidad extraer todo el material particulado como arena, grasas y aceites; esto se logra mediante la aireación permanente del agua desde la base de dos conductos que conforman esta sección denominada desarenado.

Tratamiento biológico.

Una vez pre tratadas las aguas la línea de procesos continúa con un tratamiento secundario que involucra a los microorganismos encontrados principalmente en lodos.

Decantación.

Este proceso se lleva a cabo mediante dos lagunas. El primer decantador separa lodos primarios y el secundario recibe agua descendiente del reactor biológico.

Reactor biológico.

Es una infraestructura conformada por dos tanques denominados reactores en los que se trata la carga biológica mediante dos etapas una de inhibición de aire y otra de sobreoxigenación, En esta etapa se potencia el crecimiento bacteriano selectivo con la finalidad de fragmentar los contaminantes y microorganismos perjudiciales para la salud humana como *Escherichia coli* encontrados en heces fecales.

3.6 Factores Constitutivos de una Microcuenca Hidrográfica

Existen tres factores que constituyen a un río, la pluviometría el nivel y la vertiente en la cuenca, la que se encarga de aportar agua es la pluviometría gracias a los de sus escurrimientos, la que se encarga de recoger es la cuenca vertiente. Las características físicas de un cuerpo de agua dependen directamente por la litología presentada de las rocas y compuesta por la red de escurrimiento de agua (Fontalvo-Julio, 2018).

El agua es patrimonio de la humanidad, es un elemento y forma parte de la naturaleza, brinda beneficios y como recurso primordial para las actividades económico-productivas

En su uso y manejo para el desarrollo de instituciones, autoridades, grupos sociales, académicos y demás siempre ha sido un reto ya que su manejo es complejo y delicado, por eso es importante estudiar su comportamiento frente a interacciones con medios de diferente característica. (Bolaños, 2020)

3.6.1 Cambios y Predicciones de la Microcuenca del Río Tahuando.

El nivel de contaminación de una cuenca es muy variable debido a sus aspectos como: caudal, turbidez, y olor; cualidades que la hacen sensible al estar cerca de una población que está sometida a descargas de agua residual, la misma que aumenta con la expansión de la ciudad, permitiendo predecir los cambios a través del tiempo en aras de la salud humana (Dunán, 2019).

3.6.2 Características Físicoquímicas de una Microcuenca Hidrográfica.

La calidad del agua de los ríos se describe por variables físicas, químicas y bacteriológicas usadas en la determinación de un índice.

Dentro de este grupo se tiene a las sustancias que inciden directamente en la composición estética del agua. Existen ciertos parámetros que pueden ser apreciados a simple vista y se los cataloga como organolépticos, mientras que hay otros parámetros físicos que requieren de algún método para ser medidos (Osorsio Ortega, García Gonzáles, & Saquicela Rojas, 2021).

3.6.2.1. Parámetros Físicos.

Turbiedad: Es la propiedad óptica que presenta una partícula en suspensión que hace que la luz se disperse y no sea transmitida sus partículas a través de la suspensión, dificultando el paso normal de la luz dando la coloración particular de no claridad (Nariño, 2017).

pH: Es un término empleado para media de acidez o alcalinidad de un elemento, origina cambios en la flora y fauna de los cuerpos de agua y su escala indica la cantidad de iones de hidrogeno existen en una disolución o sustancia (Nariño, 2017).

Temperatura: Esta es la encargada de medir cuánta es la diferencia de temperatura que gana o pierde un objeto o sustancia, usualmente se mide con un termómetro. Es un indicador que tiene relevancia en el Oxígeno disuelto ya que es un compuesto importante para realizar la fotosíntesis y producir carbohidratos que sirven de fuente de alimento.

La relación de temperatura del agua se encuentra comprometida por la altitud del tramo de la microcuenca, obteniendo valores menores de temperatura en los lugares más altos del río.

Otro factor fundamental que influye directamente es el horario de toma de muestras siendo entre las 08H00 y 12H00 el horario que se realizaron las recolectas.

3.6.2.2. Parámetros Químicos.

Demanda Bioquímica de Oxígeno incubación 5 días: La definición como la demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.) de un líquido, es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos en especial la flora bacteriana tanto aeróbicas como anaeróbicas, plancton y hongos, para degradar los compuestos orgánicos, esta demanda varía dependiendo del tipo y cantidad de microorganismos. En ciertos casos la competencia por consumir oxígeno es una característica esencial de un agua contaminada.

Nitritos: Generalmente está presente en forma de ion nitrato el cual formando sales que son establemente solubilizadas, una característica importante es que se puede reducir desde el ion nitrato a nitrito, Una muestra de agua de mar puede contener hasta 1 mg/L mientras que una muestra en condiciones de normalidad puede tener 10 mg/L, esta brecha se da principalmente cuando existe una fuente o una concentración elevada con riesgo de que en un cuerpo de agua pueda causar un desarrollo descontrolado de algas acuáticas pasando de estado eutrófico a hipertrófico (Araujo, Chávez, Garayar, & Álvarez, 2021).

Fosfatos: La salinidad de este parámetro puede alterar la conductividad eléctrica y es un factor crucial ya que una muestra de agua en estado natural no debería tener concentraciones mayores a 1 mg/L. Es utilizado en abonos o mejoradores de suelo ayudando en la agricultura, pero si no se mantiene un control adecuado de los lixiviados puede acumularse y causar un incremento descontrolado de organismos (Aguilar y Navarro, 2018). El proceso de oxidación cambia según la temperatura del medio en que se encuentre. (Mazzorana, Santibáñez, Iribarren, Mao, & Rojas, 2021).

3.6.3 Microorganismos de aguas residuales.

La carga bacteriana que puede soportar un cuerpo de agua residual es inmensurable ya que alberga una inmensa diversidad de especies desde bacterias gram positivas y negativas muchas de origen fecal tales como protozoos, salmonella, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Serratia*, *Nocardia*, *Spirochaeta sp* entre otros. Esta amplia gama de microorganismos hace viable a enfermedades cómo el cólera, transmitida por el bacilo *Vibrio cholerae* o la disentería causada por las Clostridiales. La forma común de contagio con seres humanos es principalmente el contacto con medios infestados, déficit en la higiene personal o ingesta de alimentos incorrectamente sanitizados (Quiroz, 2018).

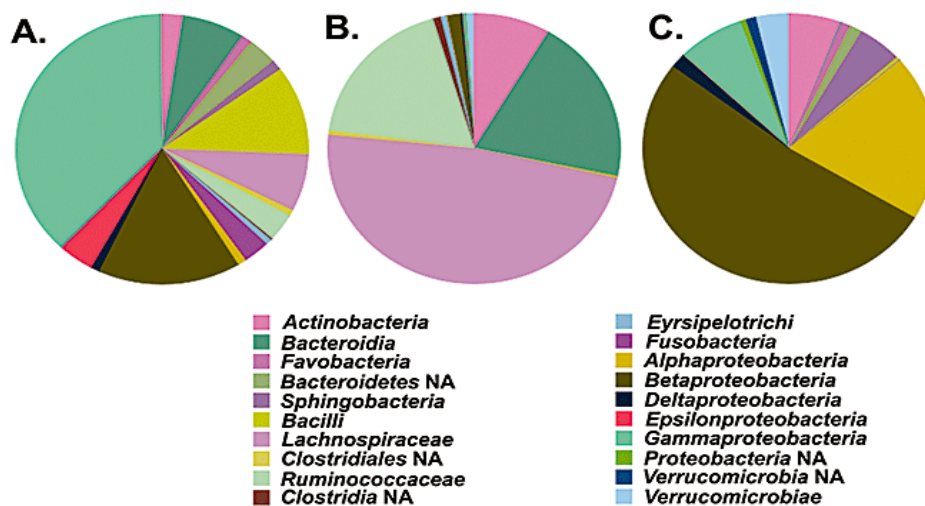


Figura 3 Filos de comunidades microbianas de ocho muestras de aguas residuales sin tratar de dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Nota: (A) Composición taxonómica de aguas residuales, (B) humana y (C) aguas superficiales por clase.

Fuente: (McLellan, 2021)

3.6.3.1 Parámetros Microbiológicos.

Coliformes Fecales.

Son microorganismos que poseen una estructura similar a la *Escherichia coli* y se propagan normalmente en el sistema digestivo del hombre y animales algunos causando enfermedades leves o intangibles y en algunos casos pueden ser fatales. Son abundantes y casi exclusivos de la materia fecal (Calvo Brenes Y Mora Molina, 2019).

La forma normal de transmitirse es la ingestión y al tener relación directa con medios contaminados. Así como el caso de los manglares en la costa ecuatoriana donde la amplia gama de concentración de coliformes totales en aguas residuales domésticas se han detectado niveles de coliformes totales (5400-8900 NMP/100 mL) y fecales (5100-5600 NMP/100 mL) como consecuencia enfermedades digestivas en los pobladores y contaminación en uno de los bivalvos más consumidos gastronómicamente como la *Anadara tuberculosa* y *Anadara similis* (Pernía, Mero, Cornejo, y Zambrano, 2019).

3.6.4 Índices de Calidad Relacionados con las Características Físicoquímicas y Bacteriológicas del Agua.

En las investigaciones relacionadas a la calidad de agua se permiten determinar mediante diferentes índices de calidad de agua cómo son: National sanitation fundation (NSF), (Brown *et al.*, 1970) Canadian council of ministers of the environment water quality index (CCME), índice de calidad general (ICG), ICAUCA de Colombia, ICA - León, de México. Ahora llevado a un contexto de todo el territorio nacional ecuatoriano se ha concluido que el ICA-NSF describe mejor la calidad de los ríos (Mazzorana, Santibáñez, Iribarren, Mao, y Rojas, 2021).

3.7 Alcance del Análisis de Variables de la calidad de Agua

La calidad de las aguas se evalúa de forma usual mediante estudios que abarcan variables espaciales y temporales, la primera es posible gracias a los cambios en su gradiente espacial en el ecosistema, mediante la elección de un área representativa del objeto de estudio. Mientras que, en la evaluación intemporal de un ecosistema tropical, resulta necesario tener disponible la obtención de datos en rangos temporales de estudio diferentes esto último mencionado tiene una relación estrecha con la interpretación de los resultados ya que su variación consiste en la interacción de los periodos climáticos y que es lo que se obtiene de ello (Fontalvo-Julio, 2018).

3.8 Método Estadístico para el Análisis de Datos

Estadística descriptiva.

Es un método que aplica técnicas para analizar a un determinado grupo de numerosos datos convirtiendo y organizándolos para una interpretación fácil mediante su debida tabulación, haciendo posible la elaboración de cuadros o gráficos que permiten una mejor interpretación detallada y compleja (Arcentales Ríos y Carrión Méndez, 2021).

Comparación de medias

Para la comparación de datos como es el caso del presente ensayo se deberá escoger las medias de cada variable continua la primera que será a la población sujeta al objeto de ensayo y la otra a un grupo de comparación y contrastar los resultados con datos similares para lo cual se deberá coincidir en dos aspectos importantes que son la homoestabilidad y homogeneidad (Arcentales Ríos & Carrión Méndez, 2021)

Pruebas Paramétricas.

Son pruebas que bajo un determinado rigor logran cumplir con la homocedasticidad e independencia de las observaciones, y cumpliendo todos o uno de los supuestos establecidos, en caso de que la población objeto de estudio no manifieste una distribución normal se opta por pruebas homologas que se denominan no paramétricas.

Prueba de Shapiro Wilk.

Es comúnmente utilizada para determinar si los valores de una población objeto de estudio tiene o no normalidad facilitando así la elección de futuras pruebas no paramétricas, en esta prueba se determina el nivel de significancia que tiene p valor en el caso de que el p valor sea mayor que el nivel de significancia (p valor $>0,05$) se decide en que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa (Tapia y Cevallo, 2021).

T-Student

Tiene como finalidad determinar la media de una población objeto de estudio es una variable aleatoria en la cual se obtiene cierto grado de libertad en su distribución, esto se logra realizando pruebas estadísticas en un ensayo (Arcentales Ríos & Carrión Méndez, 2021).

3.9 Caracterización del río Tahuando. Indicadores Físicos químicos Y Biológicos Año 2016

Un factor relevante es la comparación de medias de la calidad del agua del río Tahuando entre 5 años de diferencia (2016 vs 2021); mediante la recolección y estudio de muestras se podrá obtener el índice de calidad de aguas de la fundación nacional de saneamiento (NSF), la cual, debe ser ajustada a las escalas de la calidad de aguas del año 2016, con el objetivo de corroborar los datos y su factor de correlación y confiabilidad sea óptimo.

Tabla 4

Indicadores físico-químicos y biológicos seleccionados para la determinación de la calidad del agua del río Tahuando evaluados en el año 2016.

N°	Locación	pH	Temperatura (C°)	Turbiedad (NTU)	Conductividad Eléctrica (us/cm)	Saturación OD (%)	Fosfato PO ₄ (mg/L)	Nitratos NO ₃ (mg/L)	DB O ₅ (mg/L)	Coliformes fecales (Colonies/100ml)	Sólidos totales (mg/L)
1	Romerillo	8,24	15,1	89,6	130,1	80,45	0,73	0,8	1,6	12800	185
2	Guayabillas	8,28	14,9	14,3	152,1	81,39	1,09	1	2	23700	272,5
3	Puente Rojo	8,35	15,3	14,5	162,7	68,24	0,73	0,24	3,9	90200	290
4	17 de Julio	7,59	15,5	9,15	123,3	82,02	0,96	1,1	4,2	189600	232,5
5	Tahuando final	8,3	18,5	45,6	527	78,9	3,11	0,8	20,4	1592000	402,5

Nota: El degradado en la coloración indica dónde va el valor de cada celda en dicho rango: Entre menos intenso sea el degradado, más bajo es el valor del rango por columna, y viceversa.

Fuente: Castro, J. (2016).

3.9.1 Correspondencia De Los Indicadores Físicoquímicos De Estudios Realizados En El Río Tahuando En El 2016.

Previos estudios sobre la calidad de agua del río Tahuando han discernido en diversos matices entre los indicadores físicoquímicos, sin embargo, existieron factores relacionados directamente con los parámetros de estudio especialmente componentes: Socioambientales, atmosféricos, climáticos y demográficos. Por consiguiente, se detallarán los resultados obtenidos del estudio de Castro (2016), los cuales fueron realizados en cinco puntos de muestreo y en seis fechas representativas en época climática de estiaje (Castro, 2016).

Oxígeno Disuelto.

La cantidad de oxígeno disuelto representada en porcentaje de saturación, data valores entre el 70 a 90%, sin incluir al punto “17 de Julio” el cual es un valor totalmente atípico.

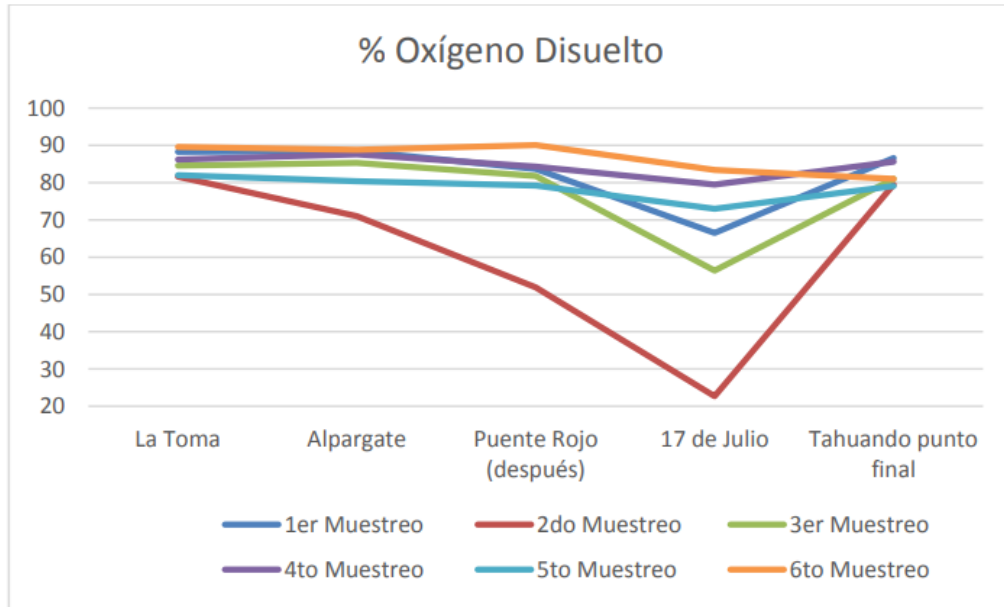


Figura 4 Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en el río Tahuando en el periodo Enero-junio del año 2016.

Fuente: Castro J. (2016).

Coliformes Fecales.

La presencia de estos microorganismos no se manifiesta en todo el río, ya que los puntos de muestreo “La toma” y “El alpargate” presentan cantidades muy bajas, las cuales no representan un riesgo sanitario. Sin embargo, en los puntos de muestreo a partir de el “Puente rojo” de la victoria los niveles de coliformes fecales extraordinariamente incrementan en el primer y segundo muestreo cómo se puede observar en la figura 5.

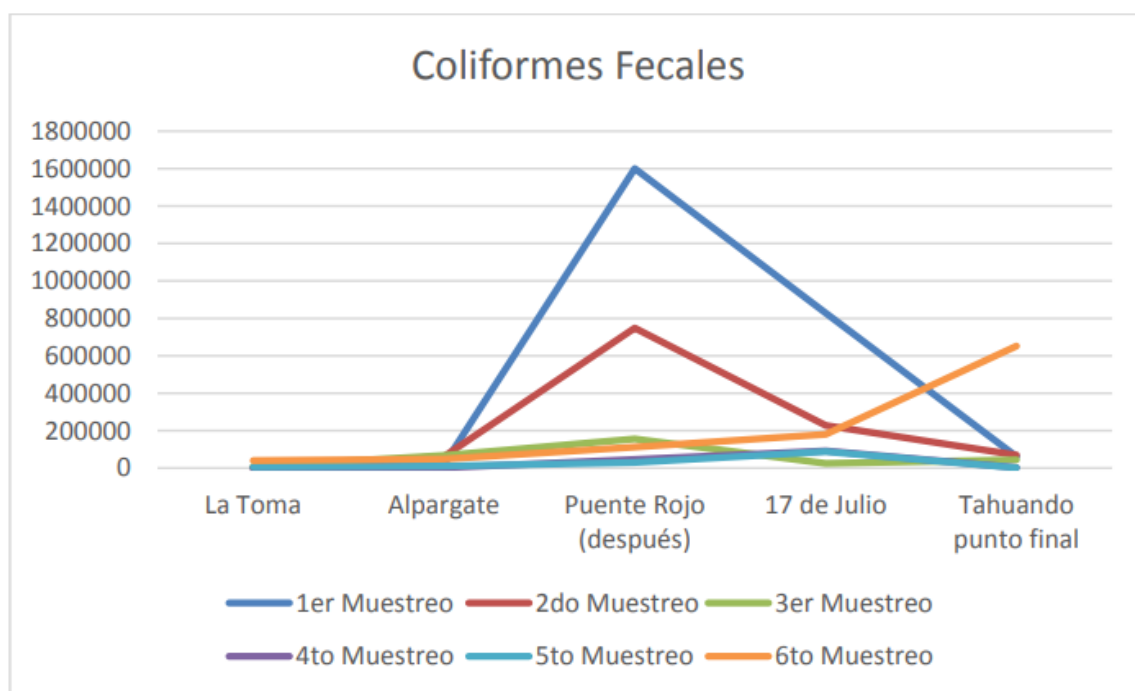


Figura 5. Cantidad de Coliformes Fecales (UFC/100ml) presentes en el río Tahuando en el periodo Enero - junio del año 2016.

Fuente: Castro J. 2016.

Demanda bioquímica de oxígeno.

Como se puede observar en la figura 6 el desarrollo de este parámetro incrementa en el punto de muestreo “Puente Rojo” ubicado en el sector “La victoria” además, el estudio de Castro, (2016), el autor de esos valores infiere a que este parámetro microbiológico mantiene una correspondencia inversa a la carga de coliformes totales.

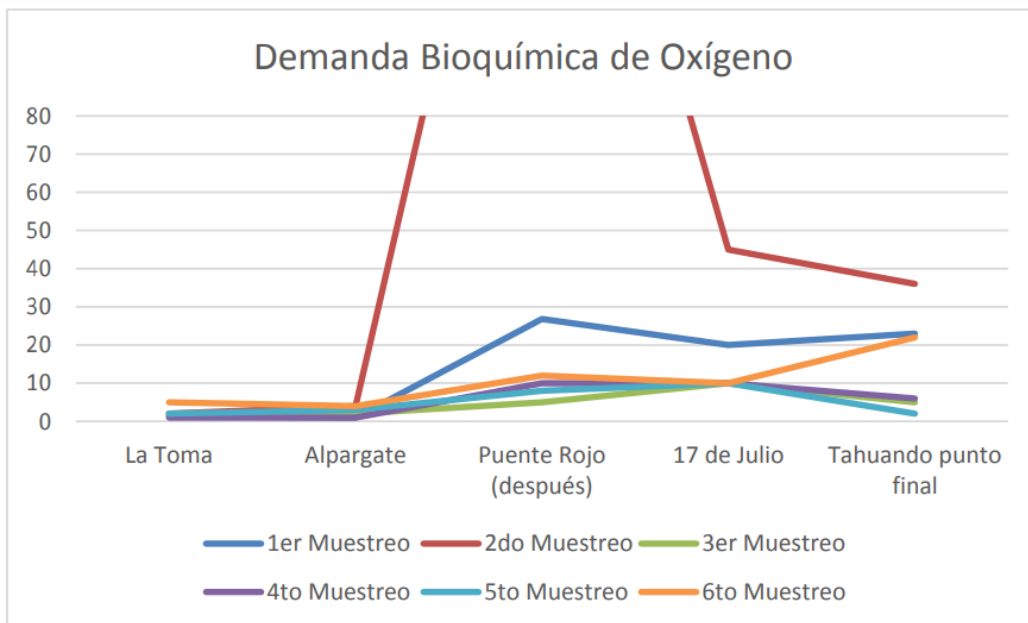


Figura 6 Demanda bioquímica oxígeno (mg/L) presentes en el río Tahuando en el periodo Enero-junio del año 2016.

Fuente: Castro, J. (2016).

Nitratos.

La concentración de nitratos en los puntos de muestreo correspondientes a “la toma” y “el alpargate” es menor a 1 ppm con su valor máximo en el segundo y quinto muestreo del “puente rojo”.

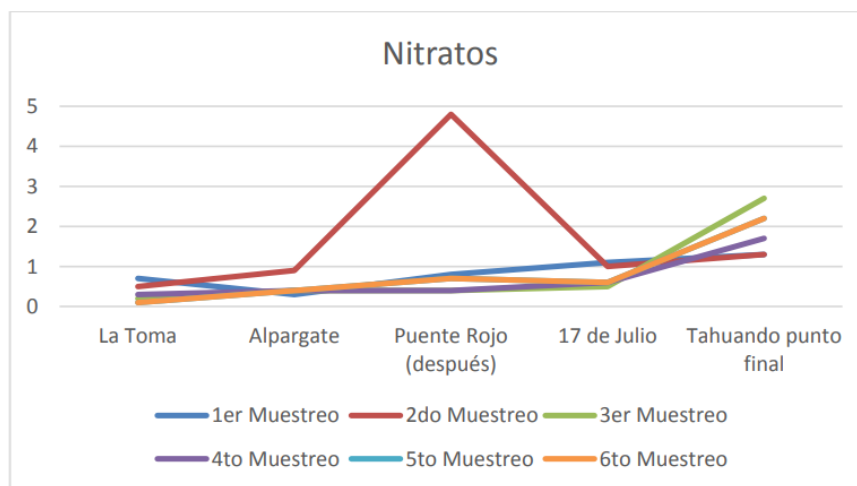


Figura 7 Cantidad de nitratos (ppm) presentes en el río Tahuando en el periodo Enero-junio del año 2016.

Fuente: Castro, J. (2016).

Fosfatos.

La concentración de este parámetro es relativamente equitativa entre los puntos de muestreo, incluidas en un rango desde 0.5 a 2 ppm. Los valores más elevados corresponden a los puntos de muestreo “puente rojo” y “17 de julio”.

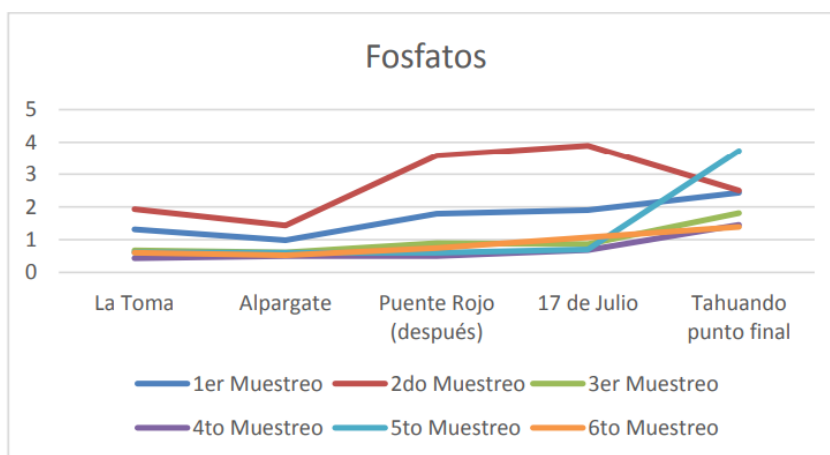


Figura 8 Cantidad de fosfatos (ppm) presentes en el río Tahuando en el periodo Enero-junio del año 2016

Fuente: Castro, J. (2016).

Turbiedad.

Como se puede observar en la figura 9 la turbiedad es inferior a 100 NTU a pesar de esto, el periodo correspondiente al 8 de junio de 2016 se puede apreciar un incremento considerable establecido en un rango de (500 – 600 NTU).

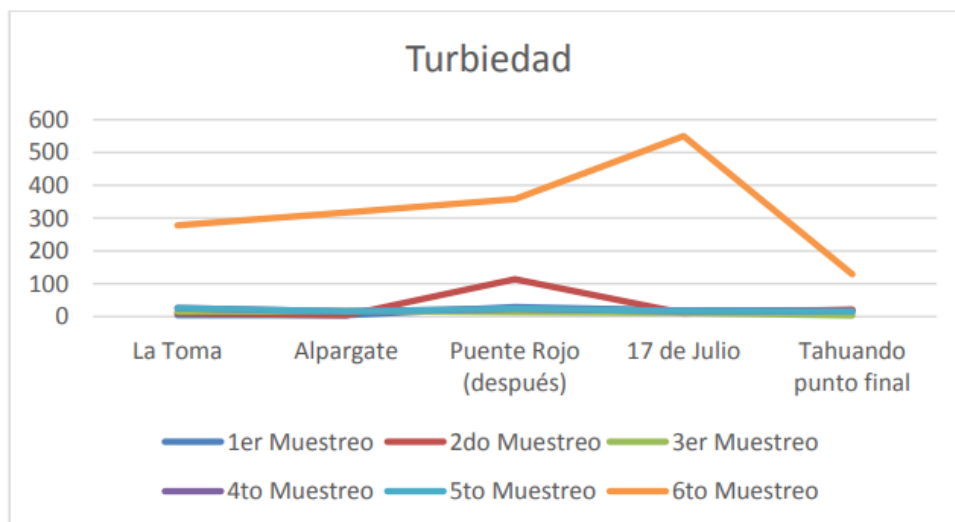


Figura 9 Cantidad de turbiedad (NTU) presentes en el río Tahuando en el periodo Enero-junio del año 2016

Fuente: Castro, J. (2016).

Sólidos Totales.

En el transcurso del río la cantidad de sólidos totales es similar a la de turbiedad con una media de 500 ppm, con una excepción en el sexto muestreo del punto “17 de Julio” (figura 10), se atribuye el incremento al material de arrastre que se produce principalmente por las precipitaciones.

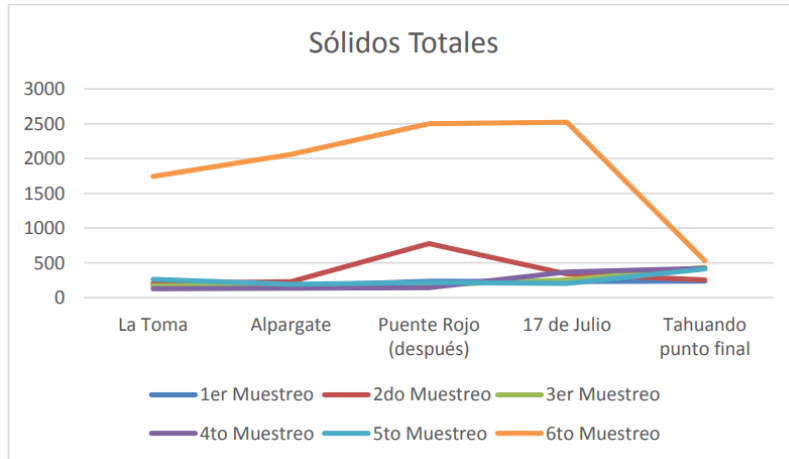


Figura 10 Cantidad de Sólidos totales (NTU) presentes en el río Tahuando en el periodo Enero-junio del año 2016

Fuente: Castro, J. (2016).

Potencial Hidrógeno.

El pH en los puntos y fechas de muestreo de cada sección es de reacción alcalina con valores superiores a 7. Como se puede observar en la figura 11 la tendencia descendiente de los valores se debe a las afluentes vertidas al río Tahuando mediante la línea de alcantarillado público. (Castro, 2016).

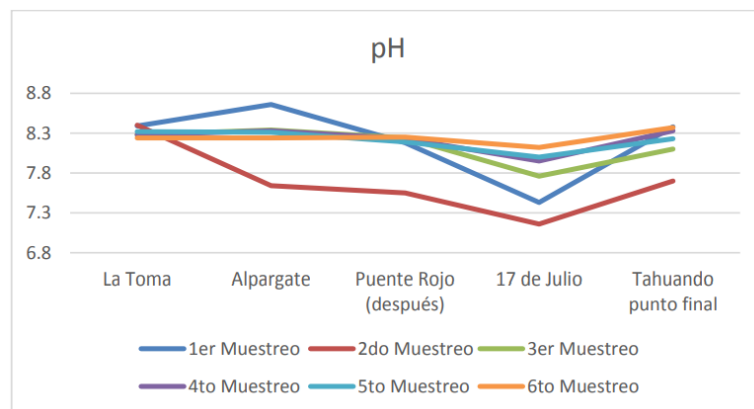


Figura 11 Potencial hidrogeno del agua presente en el río Tahuando en el periodo Enero-junio del año 2016

Fuente: Castro, J. (2016).

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de tipo puntual se realizó en un periodo de 3 meses; enero, febrero y marzo del año 2021 en los cuales se tomaron datos una vez cada quince días directamente del cuerpo de agua en cinco puntos de muestreo establecidos: "Romerillo", "Guayabillas", "Puente Rojo" "17 de Julio" y "Tahuando final" y los parámetros de estudio fueron ejecutados bajo criterios de reducción de contaminantes por el material de los recipientes, el tipo de envase (inerte), el tiempo de transporte y el cuidado y prevención de incidentes durante la manipulación. Los parámetros de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxígeno disuelto (OD en % Sat), pH, y turbiedad (NTU) fueron valoradas in situ y posteriormente se tomó muestras individuales de 500ml obtenidas en los envases de vidrio, se las resguardó en una nevera portátil y se procedió a utilizar el "protocolo de muestreo, transporte y conservación de agua con fines múltiples (consumo humano, abrevado animal y riego)" del Instituto Nacional de tecnología agropecuaria. Para transportar desde el área de muestreo hasta los laboratorios de microbiología y química de la pontificia universidad católica del Ecuador sede Ibarra, que permitieron estudiar los parámetros restantes: Coliformes fecales (Colonias/100 ml), sólidos disueltos totales (SDT, en mg/l), nitratos (NO_3 , en mg/l), fosfatos (PO_4 , en mg/l) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO en 5 días, mg/l).

4.1 Materiales, equipos y reactivos

El estudio de la calidad del agua de la microcuenca del río Tahuando consistió en realizar un muestreo con localidad y tiempos específicos para analizar su calidad ambiental mediante los resultados de las muestras de agua, luego será posible comparar los mismos parámetros y resultados evaluados con otros datos de diferente tiempo, pero misma localidad.

4.1.1 Materiales utilizados en este ensayo:

Para llevar a cabo el ensayo se consideró el uso de materiales para una correcta ejecución de los procesos (anexos 2.5 y 2.6); tanto en la etapa de campo, como en la de laboratorio. Los diferentes materiales detallados en la Tabla 5 fueron considerados bajo criterios de eficiencia y prevención de incidentes.

Tabla 5.

Materiales de campo y Laboratorio utilizados en el proceso de recolección y análisis de datos principalmente de calidad de aguas.

Campo	Laboratorio
Hielo químico	Instrumentación de aforo para reactivos y soluciones
Frascos de vidrio Boeco tapa azul 500 ml	Petrifilm para identificación de E. Coli ref: 6404/6414/6444
Agua destilada	Soluciones A, B, C, D. para DBO
Flexómetro	Test Fosfatos Spectro Mquant
Cámara fotográfica	Test Nitratos Spectro Mquant
Hielera portátil CoolKeeper de 20L	

Elaborado por: El autor (2021)

4.1.2 Equipos utilizados.

A continuación, se detallan los equipos operados en la investigación, tanto en la fase de campo como en la de laboratorio (Anexos 2.1,2.2 y 2.3).

Tabla 6.

Equipos de laboratorio y campo requeridos en el proceso de recolección y análisis de datos para el presente ensayo.

Campo	Laboratorio
Medidor de pH y temperatura, EXTECH modelo EXJ-PH100	Cámara de flujo laminar N BIOTEK
	Estufa Memmert SNB 300
Medidor de salinidad de agua estilo pluma EXTECH modelo EC170 (conductividad eléctrica)	Balanza analítica ea-ADAM
	Sistema Oxitop DBO de Sensor VELP Scientific de 5 plazas
Oxímetro YSI pro 20 series	Termómetro infrarrojo
	Espectocuant NOVA 60 MERK
Turbidímetro SPER SCIENTIFIC 860040	Hornilla HACEB EM-I 120v 60hz
Conductímetro Extech ExStick Conductivity Meter	
Anemómetro Spectrum Extech 45158	
Navegador GPS Garmin eTrex Series	

Elaborado por: El autor



Figura 12. Equipo de campo utilizados en el punto de muestreo “Tahuando final”
Nota: los frascos de vidrio están expuestos solamente con fines representativos.

Fuente: El autor.

4.1.3 Implementos De Protección Personal Y Software Utilizados.

Fue importante seguir los protocolos establecidos para la colecta de muestras; con la finalidad de que no existan alteraciones en los resultados ni afectaciones a la salud del operario.

Tabla 7.

Detalle del software utilizado y equipo de protección personal empleado para mantener la seguridad del operario.

Laboratorio	Campo
Sistema de información geográfica Arcgis	Guantes de nitrilo
Microsoft Office 2016	Botas de caucho
Garmin express	Mascarilla antipolvo
Arc Map 10.8	Protección ocular
	Mandil de laboratorio

Elaborado por: El autor

4.2. Variabilidad Espacial En La Calidad Del Agua En Los Puntos Representativos De Muestreo

Para llevar a cabo el proceso de selección de los 5 puntos, fue necesario jerarquizarlos mediante un análisis multicriterio lo que permitió optimizar la toma de decisiones que determinarían la selección de solamente 5 de los 24 puntos (Anexo 1.11) estudiados teniendo: Romerillo, Puente de Guayabillas, Puente rojo de la Victoria, La piedra chapetona y la desembocadura con el río Ambi, lugares seleccionados que obtuvieron las mejores cualidades para ser elegidos.

4.2.1 Identificación De La Variabilidad Espacial De Los Puntos Representativos.

Para establecer los puntos relevantes del área de estudio se tomó un modelo preestablecido para la colecta de datos estandarizada de la calidad de agua en el Río Tahuando, trabajo de Castro (2016), en los que fueron seleccionados 5 de 24 puntos (Anexo 1.11) que, tras su evaluación, fue posible la selección que se llevó a cabo bajo dos criterios; Tanto el posible acceso, cómo lugares donde existen efluentes de contaminación hacia el cuerpo de agua.

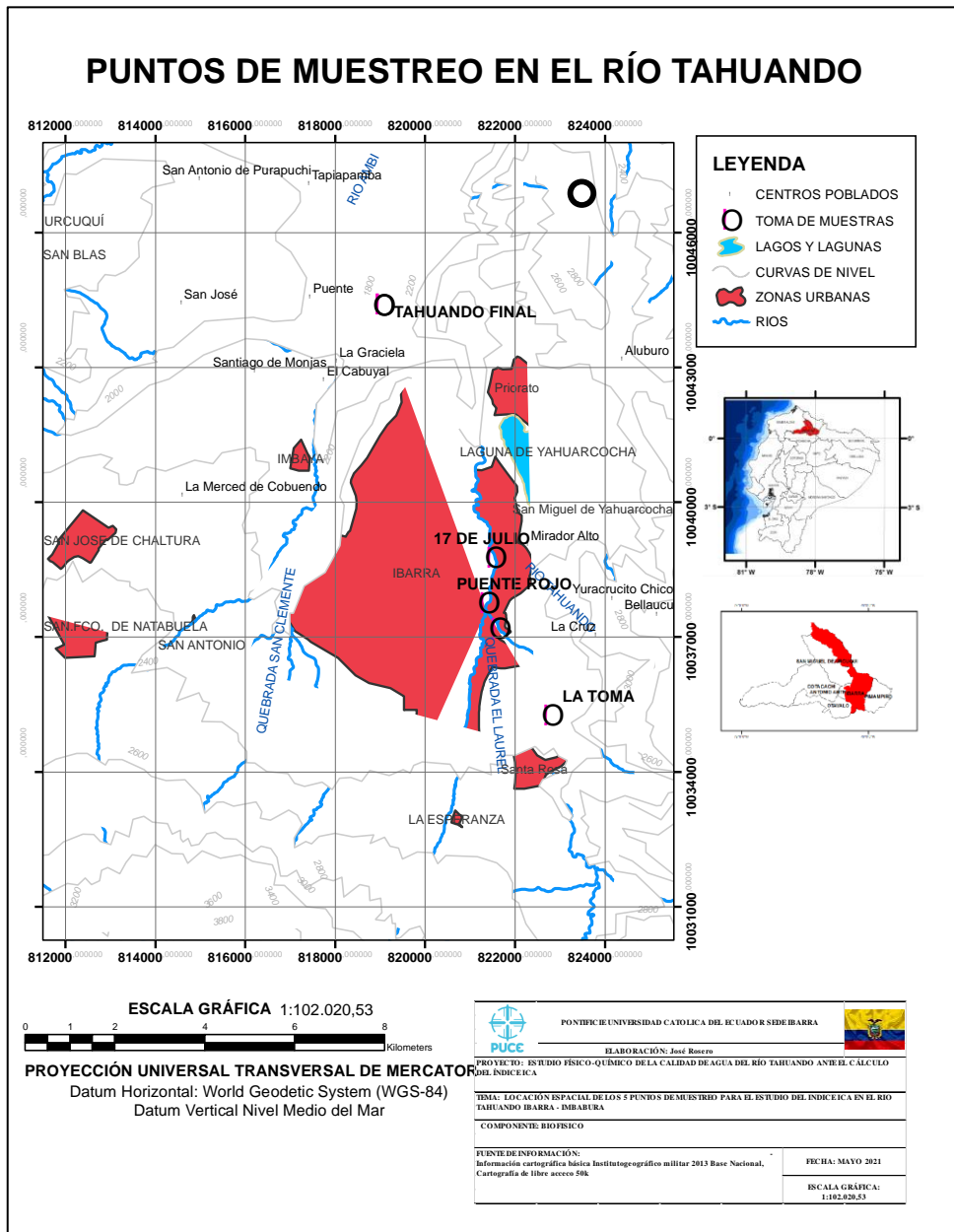


Figura 13. Puntos representativos de muestreo en la microcuenca del río Tahuando

Elaborado por: El autor.

4.3 Método Empleado Para La Toma De Muestras Y Recolección De Datos

Los criterios del programa de muestreo fueron basados en la norma SM Part 2130 B, 22nd Edition. Lineamientos basados en la autenticidad de los procesos cómo reducir contaminantes por el material de los recipientes que se utilizarían en la línea de custodia de las muestras de agua del río; el tipo de envase utilizado, fácil de limpiar y compatibles con la muestra objetiva, siendo inerte química y biológicamente.

El método utilizado para la determinación de los parámetros fue el NTP - ISO / IEC 17025:2006 con un tipo de colecta puntual ya que es práctico cuando el objetivo del programa de estudio es evaluar un sistema lótico. Estos criterios tienen la finalidad de que se minimice la alteración de resultados y posibles contratiempos.

4.3.1 Delimitación Temporal Para La Toma De Datos.

El tiempo determinado para obtener de la calidad de agua del río Tahuando mediante los índices de calidad establecidos por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF), se estableció en un periodo de 3 meses, en los cuales se tomaron datos 1 vez cada 15 días en los mismos puntos. Obteniendo un total de 6 tomas por cada estación en el tiempo de 3 meses. Los parámetros que se evaluaron fueron: pH, turbiedad, Oxígeno disuelto, coliformes fecales, nitritos, fosfatos, y diferencia de temperatura.

4.3.2 Análisis De La Calidad De Agua Y Cálculo De Los Índices De La Calidad Del Agua.

La recolección de muestras en cada sitio fue realizada en envases de vidrio borosilicato 3.3, según ISO 4796 con capacidad de 500 ml, marca Boeco. Se tomó la muestra de agua directamente en cada punto de muestreo en el río. Se los depositó en una nevera portátil de 20 litros a una temperatura de 6°C se resguardó de la luminosidad evitando la multiplicación de los microorganismos para evitar que los datos se invaliden, y se alejen de la realidad en relación a la media de los resultados posteriores. Con los que se realizará la comparación multitemporal.

Debido a que los puntos de muestreo estaban ampliamente distribuidos, la manipulación de las muestras implicó un minucioso cuidado, ya que el tiempo estimado que se necesitó para completar la fase de muestreo de campo fue alrededor de 3,5 horas; se siguieron las recomendaciones del “protocolo de muestreo, transporte y conservación de agua con fines múltiples (consumo humano, abrevado animal y riego)” del Instituto Nacional de tecnología agropecuaria (2011).

4.3.3 Análisis De Muestras In Situ.

En cada sitio de muestreo se procedió a tomar una muestra puntual en un recipiente de vidrio de 500 ml (Boeco), luego con la ayuda de un medidor de pH y temperatura, (EXTECH modelo EXJ-PH100) se midió el potencial hidrógeno. Prontamente se calculó la salinidad de agua con un medidor estilo pluma EXTECH modelo EC170, la temperatura del agua, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno se consiguió con el oxímetro YSI pro series 20. Posteriormente se tomó la temperatura ambiente con un anemómetro Spectrum Extech 45158 para finalizar con el cálculo de la turbiedad esto llevado a cabo con el turbidímetro SPER SCIENTIFIC 860040, bajo la norma de referencia SM Part 2130 B, 22nd Edition. Todos los equipos se verificaron y calibraron un día antes de la toma de datos cuando se realizó el respectivo trámite de requisición con la asistencia del jefe de laboratorios de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.

Las coordenadas se tomaron solamente la primera vez de visita en campo con un GPS Garmin Etrex 10 series, ya que en los próximos meses de muestreo se realizarían en los mismos lugares.

4.3.4 Análisis De Muestras Ex Situ.

Una vez realizada la recolección de las muestras agua en los 5 puntos de muestreo que llevó un tiempo aproximado de 3 horas fueron trasladadas al laboratorio de Química de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra donde se calcularon los siguientes parámetros bajo la norma de referencia SM Part 5210 B, 22nd Edition: DBO al quinto día con el Sistema Oxitop DBO Sensor VELP Scientific de 5 plazas; Nitratos y fosfatos se obtuvieron con la ayuda de los test nitritos y fosfatos MQuant™ y el espectrofotómetro Espectocuant NOVA 60 MERK; Los sólidos totales fueron calculados mediante la diferencia de pesos calculada con la reducción

de volumen de una muestra de agua deshidratándola durante 3 horas en la Estufa Memmert SNB 300; La determinación de coliformes fecales realizado en el laboratorio de microbiología de la misma institución se obtuvo con el método de recuento de coliformes de Placas Petrifilm™, que fueron inoculadas en la cámara de flujo laminar N Biotek e incubadas en la estufa Memmert SNB 300 del mismo laboratorio. El protocolo se lo llevó a cabo bajo las recomendaciones de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF).

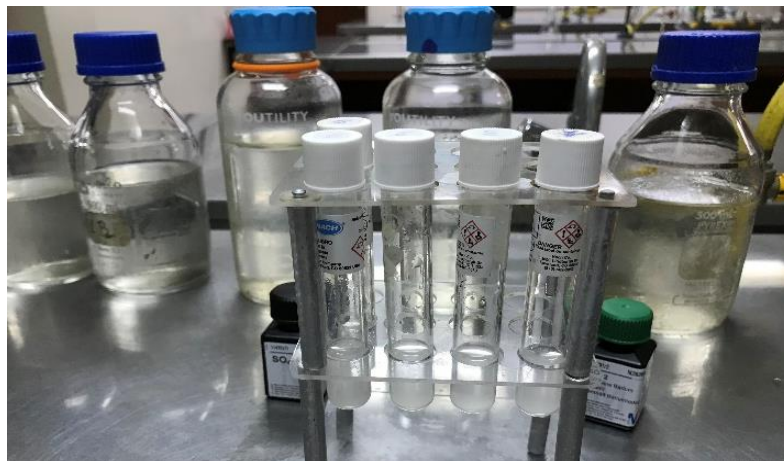


Figura 14. Disolución del reactivo NO_3^- para la determinación de nitratos en el laboratorio de química de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra.

Para el cálculo de *E. coli*/Coliformes se realizó con la norma de referencia SM Part 9221 B, 22nd Edition, mediante un recuento bajo la influencia selectiva del medio en las placas Petrifilm™ inoculadas con 1 ml de la muestra de agua del río Tahuando. Las *E. coli* son fermentadores de lactosa y el 95% producen gas que al reaccionar con la película superior es atrapado y representado por una coloración azul y roja gracias a su incubación permitiendo el conteo posterior de colonias (Schraft, 2005).

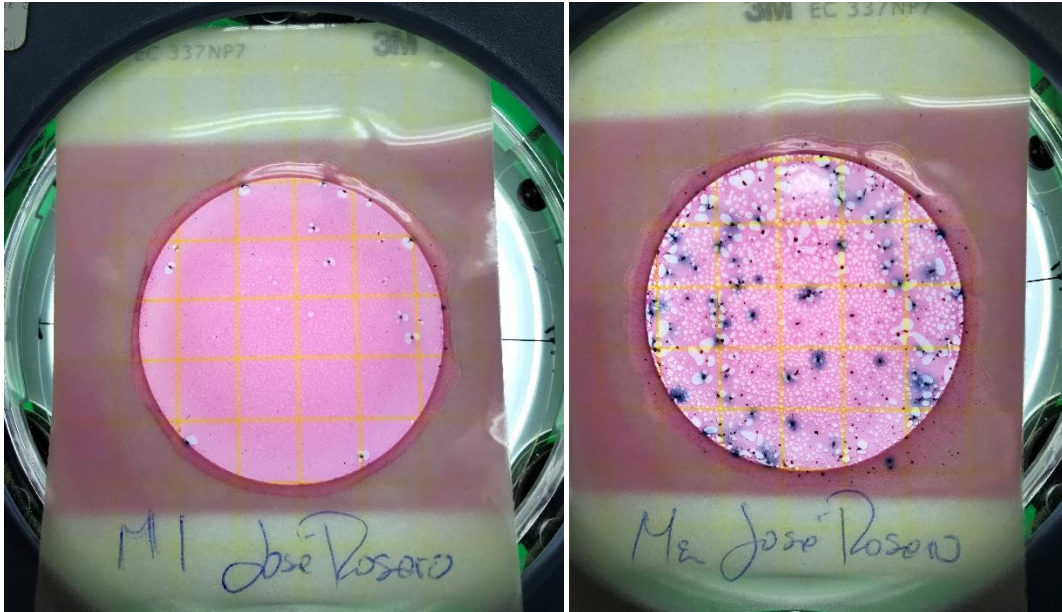


Figura 15. Comparación de dos muestras una tomada en el primer punto “Romerillo y la otra en el punto 17 de Julio.

La incubación se da lugar en la estufa Memmert SNB 300 a una temperatura de $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$. durante 24 - 48 horas, obteniendo las placas que dieron lugar al recuento y ponderación para obtener el resultado final de este parámetro. En las unidades de NMP/100ml: Número Más Probable de Coliformes Fecales por 100 mililitros (Kehr S, Morales, Contreras, y Castillo, 2004).

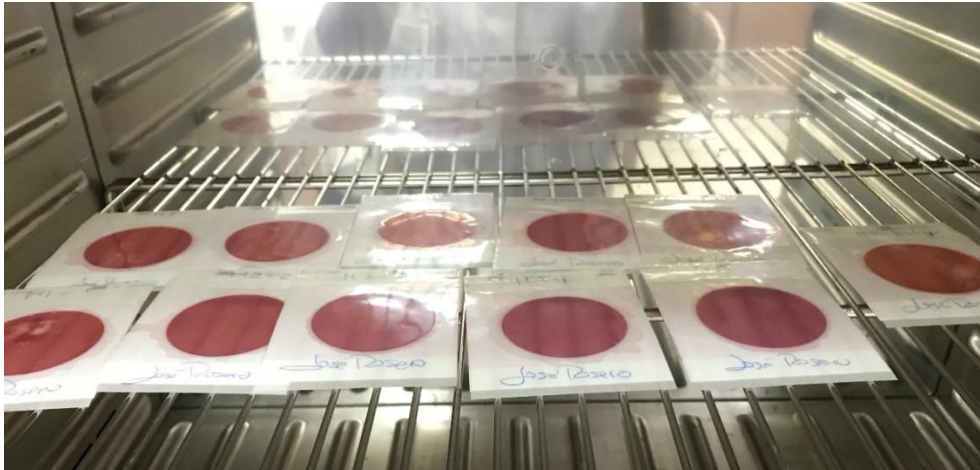


Figura 16. las placas Petrifilm™ inoculadas a $+25^{\circ}\text{C}$ con 1ml de muestra de agua, para determinar los coliformes fecales.

▪ ***Demanda Bioquímica De Oxígeno.***

Uno de los parámetros más relevantes para determinar la calidad en el agua es el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno al quinto día, que no es más que la cantidad requerida por los microorganismos para estabilizar el material orgánico que es posible degradarse con oxígeno, bajo una condición aerobia.

La norma de referencia es la SM Part 5210 B, 22nd Edition. Se logró mantener un lineamiento seguro en el normal crecimiento del material microbiano permitiendo desarrollarse bajo un criterio convincente, ya que insta a suministrar nutrientes adecuados (NyP) y mantener la temperatura constante de $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ con ausencia de luz para que no afecte en el crecimiento de los microorganismos y así bajar el riesgo de una variabilidad en los resultados (Navarro, 2007).

Tabla 8.

Nutrientes para la preparación de las soluciones para obtener DBO al quinto día una vez sea inoculada la dilución.

Reactivos especiales	Nutrientes
Hidróxido Potásico (KOH)	Solución cloruro férrica: 0.25 g de Cloruro Férrico Hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) a 1 L de agua destilada.
Cloruro de Hierro, férrico, hexahidratado ($\text{FeCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$)	
Cloruro de Calcio, anhídrido (CaCl_2).	Solución de cloruro de calcio: 27.5 g de Cloruro Cálcico anhídrido (CaCl_2) a 1 L de agua destilada.
Sulfato Magnésico, heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$).	Solución de sulfato de magnesio: 22.5 g de Sulfato Magnésico Heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) a 1 L de agua destilada.
Cloruro Amónico (NH_4Cl).	Solución amortiguadora de fosfatos: 8.5 g de Fosfato Potásico monobásico (KH_2PO_4), 33.4 g de Fosfato di-Sódico Heptahidratado ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$), 21.7 g de Fosfato Di-Potásico (K_2HPO_4), 1.7 g de Cloruro amónico, ($\text{NH}_4 \text{Cl}$) a 1 L de agua destilada.

Fuente: El autor

▪ **Sólidos Totales.**

La obtención de este parámetro se llevó a cabo mediante la técnica de evaporación de humedad. Inicialmente se procedió a introducir los crisoles vacíos sin tapa en la estufa Memmert SNB 300 del laboratorio de Química de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador durante 2 horas a 110 °C de temperatura con la finalidad de tararlos y llegar a su peso absoluto (constante) reduciendo materiales como grasas y aceites adheridos a la superficie del crisol para que no exista una irregularidad en los resultados. Una vez tarados se los llevó a la balanza analítica ea-ADAM para medir su peso (P1). Después se vertió 30 ml de muestra en los crisoles sin tapa de 50 ml y se calculó su peso, en la balanza analítica ea-ADAM (P2); Nuevamente se llevó los crisoles a la estufa Memmert SNB 300 a una temperatura constante de

110 °C para reducir los 30 ml de muestra separando los sólidos de la muestra. Finalmente se llevó a la balanza analítica ea-ADAM para la obtención del final (PF). Este proceso fue ajustado bajo la norma de referencia SM Part 2540 C, 22nd Edition. Por consiguiente, se efectuó la siguiente fórmula (Mencias Recalde, 2018).

$$\text{Sólidos disueltos } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{\text{mg de sólidos disueltos totales}}{\text{L}} = \left(\frac{(P2-P1)}{\text{Volumen de la muestra, mL}} 1000\right)$$

Dónde:

P1= Peso de crisol tarado + Cápsula (mg)

P2 = Peso del crisol (mg)

PF= Peso final de la muestra, equivalente a (P1-P2)

Volumen de la muestra = 30 mL (esta medida es el volumen de la muestra ocupada)

▪ **Nitratos**

Este parámetro se obtuvo usando el “test nitritos MQuant™” basado en la reducción de iones nitrato a iones nitrito por la reacción reductora de una amina aromática. Esta al reaccionar con N-(1-naftil)-etilendiamina se determinó en un espectrofotómetro Merck NOVA 60 del laboratorio de Química de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.

Para la preparación de las muestras fue necesario eliminar los iones nitrito interferentes y comprobar que la solución esté con un pH entre 5-8, cuyo valor fue relativamente neutro en todas las soluciones. Una vez preparada la muestra se procedió a la aplicación de la técnica; se agregó una micro cuchara de NO₃-1 en un tubo de ensayo seco luego se añadió con una pipeta 5,0 ml del reactivo NO₃-2 (entre 15 y 25 °C) y se agitó vigorosamente durante un minuto para disolver el reactivo completamente una vez realizada la disolución se vertió 1,5 ml de la muestra

preparada (entre 15-25 °C) este paso se llevó a cabo bajo estrictas medidas de seguridad precisando la SM Part 4500-NO₃⁻ E, 22nd Edition, ya que el reactivo al entrar en contacto con la muestra se calienta súbitamente.

Se dejó reposar 10 minutos para que actué la reacción y finalmente se procedió a introducir en una cubeta rectangular y medir en el espectrofotómetro Merck NOVA 60 (Cruz Correa, 2020).

▪ ***Fosfatos.***

EL cálculo de este parámetro ajustado a la norma de referencia del método SM Part 4500-P E, 22nd Edition se basa en la determinación de ortofosfatos que con ácido ascórbico reduciendo los iones molibdato, ácido molibdofosfórico a azul de fosfomolibdeno (“PMB”) del test fosfatos MQuant™ Se determinó fotométricamente con un espectrofotómetro Merck NOVA 60 en el laboratorio de Química de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.

La técnica inicial consistió en pipetear 8,0 ml de agua destilada (10 – 25 °C) en un tubo de ensayo luego se añadió 0,5 de muestra preparada con una pipeta, se mezcló y añadieron 0,5 ml del reactivo PO₄⁻¹ y una dosis de PO₄⁻². Para el aseguramiento analítico de calidad se dejó reposar 5 minutos (tiempo de reacción) y finalmente se introdujo la muestra de medición en una cubeta de 10 mm para ser medida en el espectrofotómetro Merck NOVA 60 (Sperotto, 2014).

4.4. Cálculo del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF (Fundación Nacional de Saneamiento)

En este apartado se hace referencia sobre el proceso efectuado para la obtención de los datos del programa de muestreo con el análisis del índice de calidad de agua “NSF-WQI” desarrollado directamente en la plataforma de la “Fundación Nacional de Saneamiento (1)

$$WQI = \sum_{i=1}^n W_i * Q_i \quad (1)$$

Dónde:

WQI: Índice de calidad de agua

W_i: Pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Sub i: Subíndice del parámetro i.

Q_i: es el subíndice del i-ésimo parámetro.

N: Número de parámetros, (es un número constante).

La clasificación del WQI-NSF fue evaluada en tres etapas; de campo, de laboratorio y de escritorio las cuales se valoró la calidad del agua en una escala de 0 al 100 de 9 parámetros. Los valores aproximados a 0 serían los que tienen una calidad de agua extremadamente mala, mientras que los valores con proximidades a 100 representarán una calidad de agua excelente. (Araujo, Chávez, Garayar, y Álvarez, 2021).

4.4.1 Procesamiento y Ponderación de datos en la Plataforma de la Fundación Nacional de Ciencias de Estados Unidos.

El ICA-NSF desarrollado por Brown et al., (1970), al ser un método preferido por la comunidad científica esencialmente validado para el estudio de ríos, maneja cierto tipo de elementos en función de los usos del agua en estudio, ya que en su cálculo utiliza una suma lineal ponderada de los subíndices (ICAA) o una función ponderada multiplicativa (ICAm), ya que se ha determinado que es más sensible que la ponderación aritmética, es decir es mucho más sensible a la variación de la calidad en cuerpos de agua. (Servicio Nacional de Estudios Territoriales de El Salvador, 2009).

El presente estudio busca al igual que la fundación nacional de saneamiento de los Estados Unidos, simplificar esfuerzos, optimizando resultados, por consiguiente, se optó por utilizar la calculadora de monitoreo de calidad de aguas de la página oficial del centro de investigación del agua de los Estados Unidos. En dicha plataforma se subieron todos los parámetros que sistemáticamente fueron calculados mediante su ponderación (Subi), la cual solventó el resultado final del índice de calidad de agua mediante la aplicación informática de dicha plataforma. (Water Research Center, 2021).

4.5. Monitoreo de la Calidad de aguas Superficiales y Calculadora del Índice de Calidad de Aguas (ICA)

El Software utilizado para la determinación del Índice de calidad de agua de la fundación Nacional de Saneamiento utiliza el libro de manual de campo para monitoreo de calidad del agua el cual ha discernido entre 35 pruebas de calidad de agua en la ponderación detallada en la Tabla 1 lo cual se ingresaron los datos al software y el cual instantáneamente dio los resultados. Water-Research-net es un sitio web dedicado a la información de los recursos

gratuitos para entidades particulares o privadas para evaluar los sistemas de tratamiento de aguas y aguas residuales, servicios de agua potable, programas de educación ambiental y divulgación. (Oram, 2020).

4.6 Análisis Estadístico de los Datos

Una vez concluida la etapa de laboratorio y campo se procede a la interpretación de los datos mediante un análisis estadístico de los datos que se identificaron en paramétricos y no paramétricos previo a realizar una prueba estadística de normalidad Shapiro Wilk en las que se establecieron la siguiente hipótesis.

Ho: Los datos provienen de una distribución normal

Ha: Los datos no provienen de una distribución normal.

Si $p\text{-valor} > 0,05$ se usa t-Student. Cuando el $p\text{-valor} < 0,05$ se usa pruebas no paramétricas (Wilcoxon).

Los datos fueron ordenados y clasificados en hojas de cálculo del programa Microsoft Excel versión 2016 en aras de las repeticiones y locaciones de colecta de datos, posteriormente se analizó estadísticamente en el programa R-Studio. Todos los parámetros se ajustaron a una distribución normal y no hizo falta aplicar pruebas no paramétricas.

4.6.1 Prueba T-Student.

Esta prueba estadística para calcular la media, se la empleará siempre y cuando el p-valor de nuestra prueba de shapiro wilk sea menor a 0,05 ya que esto expresa que los datos provenientes de la prueba de normalidad fueron evaluados y sus hipótesis fueron determinadas. (Criollo & Castro, 2021).

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dentro de la presente investigación se obtuvieron los resultados en función al índice de calidad de agua NSF en cinco estaciones del río Tahuando tomando muestras una vez cada 15 días por tres meses. Las variables del índice NSF registradas fueron nueve: Temperatura (°C), Oxígeno Disuelto (OD en % Sat), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO en 5 días, mg/l), Turbiedad (NTU), pH, Fosfatos (PO₄, en mg/l), Nitratos (NO₃, en mg/l), Sólidos Disueltos Totales (SDT, en mg/l) y Coliformes Fecales (Colonies/100 ml). El muestreo realizado se comparará con el índice del 2016.

5.1 Resultados de Variables Físicoquímicas y Microbiológicas del Río Tahuando

5.1.1 Variables Físicas

Tabla 9.

Medias de los parámetros físicos obtenidos en el muestreo realizado

No.	Punto de Muestreo	Temperatura (°C) ^a	Turbiedad (NTU) ^a
1	Romerillo	14,52	19,55
2	Guayabillas	15,24	26,34
3	Puente Rojo	16,08	31,13
4	17 de Julio	16,40	24,75
5	Tahuando final	19,64	32,49

a = Medido In situ

Fuente: El Autor.

Temperatura.

En la Tabla 9 se indican los datos de temperatura medias para los cinco puntos de muestreo durante la investigación. Se puede observar que cumplen con la normativa Anexo 2.11. Tabla 8. La estación Romerillo obtuvo el menor valor con 14,52 °C y Tahuando Final alcanzó los 19,64 °C, siendo las tres estaciones restantes con temperaturas similares.

Turbiedad.

Como indica la Tabla 9 se muestran los niveles determinados de turbiedad del río Tahuando para este caso de estudio los valores están entre 19,55 y 32,49 NTU, siendo valores moderados de turbiedad, lo que se relaciona con precipitaciones bajas durante los tres meses.

5.1.2 Variables Químicas.

Tabla 10.

Medias de los parámetros químicos obtenidos en el muestreo realizado

No.	Punto de Muestreo	Saturación ^a OD (%)	DBO ₅ ^b (mg/l)	pH ^a	Fosfatos ^b PO ₄ (mg/l)	Nitratos ^b NO ₃ (mg/l)	Sólidos totales ^b (mg/l)
1	Romerillo	94,33	50,00	7,40	0,40	1,22	193,11
2	Guayabillas	87,60	59,8	7,49	0,82	1,24	197,14
3	Puente Rojo	96,72	72,80	7,46	1,58	1,56	199,57
4	17 de Julio	92,08	68,60	6,96	1,02	1,48	193,82
5	Tahuando final	91,18	59,80	6,98	0,52	1,22	232,11

a = Medido In situ, b = Medido Ex situ

Fuente: El Autor.

Oxígeno Disuelto.

En la Tabla 10 la concentración de oxígeno disuelto (OD), determina que, la estación Guayabillas presenta el menor valor con 87,6 % y Puente Rojo el máximo (96,72%). Los niveles de DBO5 del río Tahuando tienen valores entre 50,00 y 72,80 mg/l. El pH de las muestras está entre un rango de 6,96 y 7,40 siendo que las estaciones 17 de Julio y Romerillo, respectivamente, no presentan gran variación al estar dentro de la escala neutra. Los niveles determinados para la concentración de fosfatos dentro del muestreo, se encuentran en un rango de 0,40 y 1,58. mg/l. En la tabla 10, se puede observar que existe una variación entre puntos de muestreo siendo similares en Romerillo (0,40) y Tahuando final (0,52).

Los valores de nitratos obtenidos en laboratorio del río Tahuando, se encuentran en un rango de 1,22 y 1,56 mg/l la mayor diferencia con 0,34 en todo el muestreo. Los Sólidos Disueltos Totales (STD) no varían significativamente en los cinco puntos de muestreo. Se observa que la estación Romerillo abarca el menor valor con 193,11 mg/l y Tahuando final el valor máximo con 232,11 mg/l.

5.1.3 Variables Microbiológicas.

Tabla 11.

Medias de los parámetros microbiológicos obtenidos en el muestreo realizado

No.	Punto de Muestreo	Coliformes fecales (Colonies/100 ml) ^b
1	Romerillo	5572,00
2	Guayabillas	23184,40
3	Puente Rojo	155260,00
4	17 de Julio	123520,00
5	Tahuando final	40072,00

b = Medido Ex situ

Fuente: El Autor.

En la Tabla 11 se indican los valores determinados en laboratorio y de coliformes fecales del río Tahuando, estando entre 5572 y 155260 Colonias/100 ml.

5.2 Resultados de Variables Físicoquímicas y Microbiológicas de los Puntos de Muestreo

El primer punto, previo a la comparación de medias fue analizar la normalidad de los datos. Tomando en cuenta la cantidad baja de registros (medias del año 2016) que forman parte de la muestra se opta por usar la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar esta hipótesis: Ho: la variable se proviene de una población con parámetros normales. En este sentido, se rechaza Ho siempre y cuando el p-valor sea menor que 0,05.

Primer Punto de Muestreo “Romerillo”

Tabla 12

Comparación de los parámetros estudiados con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua.

Romerillo	Media 2021	LM P*	Cumple/ No cumple	SD (1)	CV (2)	Media 2016	LMP*	Cumple/ No cumple
pH	7,4	6,5 - 9	Cumple	0,24	0,03	8,24	6,5 - 9	Cumple
Temperatura (C°)	14,52	N/D	Cumple	0,99	0,07	15,1	N/D	Cumple
Turbiedad (NTU)	19,55	100	Cumple	6,64	0,34	89,6	100	Cumple
Conductividad Eléctrica (us/cm)	153,12	200	Cumple	16,91	0,11	130,1	200	Cumple
Saturación OD (%)	94,34	>80	Cumple	11,32	0,12	80,45	>80	Cumple

Fosfatos PO ₄ (mg/L)	0,4	10	Cumple	0,23	0,59	0,73	10	Cumple
Nitratos NO ₃ (mg/L)	1,22	12	Cumple	0,13	0,11	0,8	12	Cumple
DBO ₅ (mg/L)	50	20	No cumple	16,19	0,32	1,6	20	Cumple
Coliformes fecales (Colonias/100ml)	5572	200 0	No cumple	2997	0,54	12800	2000	No cumple
Sólidos totales (mg/L)	193,11	160 0	Cumple	79,19	0,41	185	1600	Cumple

*"LMP" (límite máximo permisible) se rige bajo criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua. Tomada del acuerdo ministerial 097-A. (1) SD = Desviación Estándar (2) CV = Coeficiente de Variación.

Fuente: El autor.

La prueba de normalidad aplicada a las variables de estudio muestra que todas se ajustan a una distribución normal; esto es, el p-valor de la prueba Shapiro-Wilk es mayor a 0,05, a excepción de los datos de la variable Nitratos NO₃, en donde se tiene p=0,0214. Así, es prudente usar la prueba t-Student en aquellas variables que si aprobaron el test de normalidad y usar la prueba de Wilcoxon en el caso de los Nitratos.

La prueba de comparación de medias puso en evidencia que la Temperatura (p=0,2587); Saturación OD (p=0,0518); Nitratos (p=0,0545); Sólidos totales (p=0,8301); e ICA (0,7863), no se diferencian significativamente entre los dos años de estudio; es decir, el promedio de estos parámetros, en el año 2021, es estadísticamente similar al observado en el año 2016. Por su parte, el pH (p=0,0015); la Turbiedad (p=0,0000); los Fosfatos (p=0,0346); y Coliformes fecales (p=0,0057) en el 2021 tienen una media estadísticamente inferior al promedio estimado del 2016. Finalmente, se determinó que la Conductividad eléctrica (p=0,0382); y la DBO (p=0,0026) fueron estadísticamente superiores en el 2021 en contraste a las medias observadas en el año 2016.

Segundo Punto de Muestreo: "Guayabillas"

Tabla 13

Comparación de los parámetros estudiados con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua.

Guayabillas	Media 2021	LMP*	Cumple/ No cumple	SD ⁽¹⁾	CV ⁽²⁾	Media 2016	LMP*	Cumple/ No cumple
pH	7,49	6,5 - 9	Cumple	0,28	0,04	8,28	6,5 - 9	Cumple
Temperatura (C°)	15,24	N/D	Cumple	1,08	0,07	14,9	N/D	Cumple
Turbiedad (NTU)	26,34	100	Cumple	8,86	0,34	14,3	100	Cumple
Conductividad Eléctrica (us/cm)	159,2	200	Cumple	19,18	0,12	152,1	200	Cumple
Saturación OD (%)	87,56	>80	Cumple	5,96	0,07	81,39	>80	Cumple
Fosfato PO ₄ (mg/L)	0,82	10	Cumple	0,4	0,48	1,09	10	Cumple
Nitratos NO ₃ (mg/L)	1,24	12	Cumple	0,13	0,11	1	12	Cumple
DBO5 (mg/L)	59,8	20	No cumple	16,01	0,27	2	20	Cumple
Coliformes fecales (Colonias/100ml)	23184	2000	No cumple	25794	1,11	23700	2000	No cumple
Sólidos totales (mg/L)	197,14	1600	Cumple	80,39	0,41	272,5	1600	Cumple

*"LMP" (límite máximo permisible) se rige bajo criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua. Tomada del acuerdo ministerial 097-A. (1) SD = Desviación Estándar (2) CV = Coeficiente de Variación.

Fuente: El autor

La prueba de normalidad aplicada a las variables de estudio, en el caso de Guayabillas, muestra que todas se ajustan a una distribución normal; esto es, el p-valor de la prueba Shapiro-Wilk es mayor a 0,05, a excepción de los datos de la variable coliformes fecales, en donde se tiene $p=0,0002$. Así, es prudente usar la prueba t-Student en aquellas variables que si aprobaron el test de normalidad y usar la prueba de Wilcoxon en el caso de los coliformes fecales.

La prueba de comparación de medias puso en evidencia que la Temperatura ($p=0,5214$); Conductividad eléctrica ($p=0,4543$); Saturación OD ($p=0,0815$); Fosfatos ($p=0,2023$); Coliformes fecales ($p=0,6250$); Sólidos totales ($p=0,1041$); e ICA ($0,4734$), no se diferencian significativamente entre los dos años de estudio; es decir, el promedio de estos parámetros, en el año 2021, es estadísticamente similar al observado en el año 2016. Por su parte, el pH ($p=0,0015$) en el 2021; tiene una media estadísticamente inferior al promedio estimado del 2016. Finalmente, se determinó que la Turbiedad ($p=0,0382$); Nitratos ($p=0,0161$); y la DBO ($p=0,0013$) fueron estadísticamente superiores en el 2021 en contraste a las medias observadas en el año 2016.

Tercer Punto de Muestreo: "Puente Rojo"

Tabla 14

Comparación de los parámetros estudiados con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua.

Puente Rojo	Media 2021	LMP*	Cumple/ No cumple	SD (1)	CV (2)	Media 2016	LMP*	Cumple/ No cumple
pH	7,46	6,5-9	Cumple	0,22	0,03	8,35	6,5 - 9	Cumple
Temperatura (C°)	16,08	N/D	Cumple	1,17	0,07	15,3	N/D	Cumple
Turbiedad (NTU)	31,13	100	Cumple	4,49	0,14	14,5	100	Cumple
Conductividad Eléctrica (us/cm)	222	200	No cumple	36,21	0,16	162,7	200	Cumple
Saturación OD (%)	96,72	>80	Cumple	25,16	0,26	68,24	>80	Cumple
Fosfato PO ₄ (mg/L)	1,58	10	Cumple	0,9	0,57	0,73	10	Cumple
Nitratos NO ₃ (mg/L)	1,56	12	Cumple	0,4	0,26	0,24	12	Cumple
DBO ₅ (mg/L)	72,8	20	No cumple	10,03	0,14	3,9	20	Cumple
Coliformes fecales (Colonias/100ml)	155260	2000	No cumple	6413	0,04	90200	2000	No cumple
Sólidos totales (mg/L)	199,57	1600	Cumple	85,96	0,43	290	1600	Cumple

*"LMP" (límite máximo permisible) se rige bajo criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua. Tomada del acuerdo ministerial 097-A. (1) SD = Desviación Estándar (2) CV = Coeficiente de Variación.

Fuente: El autor

La prueba de normalidad aplicada a las variables de estudio, en el caso de Puente Rojo, muestra que todas se ajustan a una distribución normal; esto es, el p-valor de la prueba Shapiro-Wilk es mayor a 0,05. Así, es prudente usar la prueba t-Student en aquellas variables que si aprobaron el test de normalidad.

La prueba de comparación de medias puso en evidencia que la Temperatura ($p=0,2100$); Saturación OD ($p=0,0646$); Fosfatos ($p=0,1011$); y Sólidos totales ($p=0,0783$), no se diferencian significativamente entre los dos años de estudio; es decir, el promedio de estos parámetros, en el año 2021, es estadísticamente similar al observado en el año 2016. Por su parte, el pH ($p=0,0015$); y el ICA ($p=0,0027$) en el 2021; tienen una media estadísticamente inferior al promedio estimado del 2016. Finalmente, se determinó que la Turbiedad ($p=0,0012$); Conductividad eléctrica ($p=0,0216$); Nitratos ($p=0,0019$); DBO ($p=0,0001$); y Coliformes fecales ($p=0,0000$) fueron estadísticamente superiores en el 2021 en contraste a las medias observadas en el año 2016.

Cuarto Punto de Muestreo "17 De Julio"

Tabla 15

Comparación de los parámetros estudiados con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua.

17 de Julio	Media 2021	LMP*	Cumple/ No cumple	SD ⁽¹⁾	CV ⁽²⁾	Media 2016	LMP*	Cumple/ No cumple
pH	6,96	6,5 - 9	Cumple	0,16	0	7,59	6,5 - 9	Cumple
Temperatura (C°)	16,4	N/D	Cumple	1,4	0,1	15,5	N/D	Cumple
Turbiedad (NTU)	24,75	100	Cumple	4,95	0,2	9,15	100	Cumple
Conductividad Eléctrica (us/cm)	180,3	200	Cumple	25,28	0,1	123,3	200	Cumple
Saturación OD (%)	92,08	>80	Cumple	15,81	0,2	82,02	>80	Cumple
Fosfato PO ₄ (mg/L)	1,02	10	Cumple	0,51	0,5	0,96	10	Cumple
Nitratos NO ₃ (mg/L)	1,48	12	Cumple	0,41	0,3	1,1	12	Cumple
DBO ₅ (mg/L)	68,6	20	No cumple	14,47	0,2	4,2	20	Cumple
Coliformes fecales (Colonias/100ml)	1E+05	2000	No cumple	25295	0,2	189600	2000	No cumple
Solidos totales (mg/L)	193,8	1600	Cumple	76,19	0,4	232,5	1600	Cumple

*"LMP" (límite máximo permisible) se rige bajo criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua. Tomada del acuerdo ministerial 097-A. (1) SD = Desviación Estándar (2) CV = Coeficiente de Variación.

Fuente: El autor

La prueba de normalidad aplicada a las variables de estudio, en el caso de punto de muestreo 17 de Julio, muestra que todas se ajustan a una distribución normal; esto es, el p-valor de la prueba Shapiro-Wilk es mayor a 0,05; con excepción de la turbiedad en la cual se tiene $p=0,0471$. Así, es prudente usar la prueba t-Student en aquellas variables que si aprobaron el test de normalidad; mientras que, en el caso de la turbiedad, se usa la prueba de Wilcoxon.

La prueba de comparación de medias puso en evidencia que la Temperatura ($p=0,2240$); Turbiedad ($p=0,0625$); Saturación OD ($p=0,2280$); Fosfatos ($p=0,8062$); Nitratos ($p=0,1061$); y Sólidos totales ($p=0,3197$), no se diferencian significativamente entre los dos años de estudio; es decir, el promedio de estos parámetros, en el año 2021, es estadísticamente similar al observado en el año 2016. Por su parte, el pH ($p=0,0009$); Coliformes fecales ($p=0,0043$); y el ICA ($p=0,0060$) en el 2021; tienen una media estadísticamente inferior al promedio estimado del 2016. Finalmente, se determinó que la conductividad eléctrica ($p=0,0073$); y la DBO ($p=0,0006$); fueron estadísticamente superiores en el 2021 en contraste a las medias observadas en el año 2016.

Quinto Punto de Muestreo “Tahuando Final”

Tabla 16

Comparación de los parámetros estudiados con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua.

17 de Julio	Media 2021	LMP*	Cumple/ No cumple	SD (1)	CV (2)	Media 2016	LMP*	Cumple/ No cumple
pH	6,98	6,5 - 9	Cumple	0,49	0,07	8,3	6,5 - 9	Cumple
Temperatura (C°)	19,64	N/D	Cumple	1,44	0,07	18,5	N/D	Cumple
Turbiedad (NTU)	32,49	100	Cumple	5,56	0,17	45,6	100	Cumple
Conductividad Eléctrica (us/cm)	557,2	200	No cumple	72,62	0,13	527	200	No cumple
Saturación OD (%)	91,18	>80	Cumple	7,86	0,09	78,9	>80	Cumple
Fosfato PO ₄ (mg/L)	0,52	10	Cumple	0,26	0,5	3,11	10	Cumple
Nitratos NO ₃ (mg/L)	1,22	12	Cumple	0,18	0,15	0,8	12	Cumple
DBO ₅ (mg/L)	59,8	20	No cumple	9,73	0,16	20,4	20	No cumple
Coliformes fecales (Colonias/100ml)	40072	2000	No cumple	12609	0,31	1592000	2000	No cumple
Solidos totales (mg/L)	232,11	1600	Cumple	79,91	0,34	402,5	1600	Cumple

*"LMP" (límite máximo permisible) se rige bajo criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en cuerpos de agua. Tomada del acuerdo ministerial 097-A. (1) SD = Desviación Estándar (2) CV = Coeficiente de Variación.

Fuente: El autor

La prueba de normalidad aplicada a las variables de estudio, en el caso de punto de muestreo final de río Tahuando, muestra que todas se ajustan a una distribución normal; esto es, el p-valor de la prueba Shapiro-Wilk es mayor a 0,05; con excepción de la variable Coliformes totales en la cual se tiene $p=0,0009$. Así, es prudente usar la prueba t-Student en aquellas variables que si aprobaron el test de normalidad; mientras que, en el caso de los Coliformes totales, se usa la prueba de Wilcoxon.

La prueba de comparación de medias puso en evidencia que la Temperatura ($p=0,1506$); Conductividad eléctrica ($p=0,4051$); Coliformes fecales ($p=0,0625$); e ICA ($p=0,1059$), no se diferencian significativamente entre los dos años de estudio; es decir, el promedio de estos parámetros, en el año 2021, es estadísticamente similar al observado en el año 2016. Por su parte, el pH ($p=0,0038$); Turbiedad ($p=0,0062$); Fosfatos ($p=0,0000$); y Sólidos totales ($p=0,0089$) en el 2021; tienen una media estadísticamente inferior al promedio estimado del 2016. Finalmente, se determinó que la Saturación OD ($p=0,0251$); Se diferencia significativamente entre los dos años de estudio, por lo tanto, el promedio de este parámetro, En el año 2021, es estadísticamente superior al observado en el año 2016.

5.3 Variabilidad Espacial de los Puntos Representativos de la Contaminación de la Microcuenca Del Río Tahuando

La variabilidad espacial de los puntos o estaciones correspondientes en el presente ensayo infieren en que los puntos seleccionados están compuestos bajo criterios de evaluación y adaptación al entorno con la intención de reducir posibles variantes y evitar el sesgo de datos en posteriores análisis de la calidad hídrica de la microcuenca del río Tahuando.

5.3.1 Descripción de los Indicadores Físicoquímicos Recolectados en Campo de los 5 Puntos Determinados.

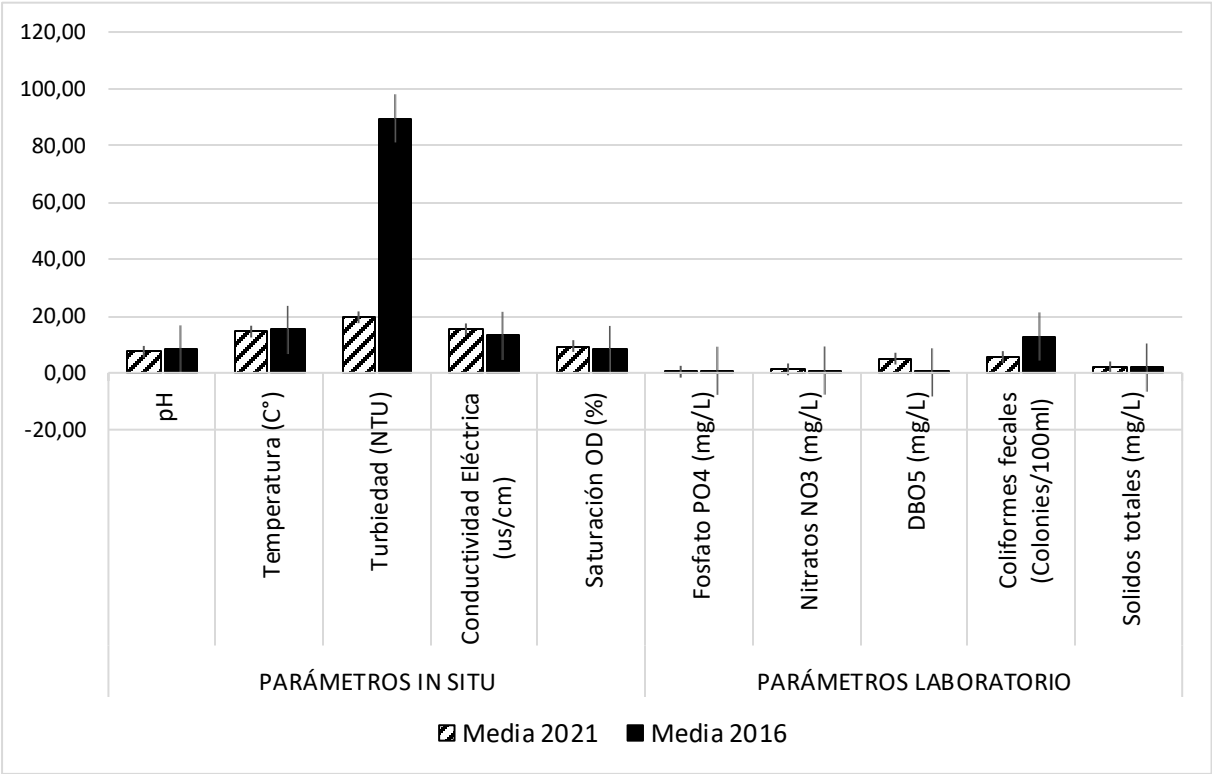


Figura 17. Medias de los parámetros físico-químicos obtenidas in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Romerillo

Elaborado por: El Autor.

En base a los resultados obtenidos que se presentan en la Figura 17, se pudo observar que en cuanto a los parámetros in situ promedios del punto de muestreo Romerillo, se puede determinar que el valor del pH en el 2021 resulta ser inferior al observado en el 2016; en este caso 7,40 y 8,24, respectivamente. Por su parte, el valor de la temperatura es de 14,52°C frente a 15,1°C correspondientes al 2016. En el caso de la turbiedad se puede ver que esta es considerablemente inferior en el 2021 con un valor de 19,55 NTU, frente a los 89,6 NTU determinados en el 2016. La conductividad eléctrica fue superior en el año 2021 con un valor de 153,12 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en contraste con el 130,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ observados en el 2016. Adicionalmente, se puede ver que la saturación OD en el año 2021 es mayor a la del 2016, con valores de 34,34% y 40,45%, en cada año.

En el caso de los parámetros de laboratorio, se determinó que el Fosfato PO_4 tomó un valor promedio de 0,40 mg/L; en contraste con el valor de 0,73 mg/L que se registró en el año 2016. Una situación similar se presentó en el comportamiento de los Nitratos NO_3 , donde el valor promedio en el año 2021, 1,22 mg/L, es superior al 0,80 mg/L encontrado en el 2016. La Demanda Biológica de Oxígeno DBO_5 , es de 50,00 mg/L en el 2021, mientras que su valor promedio en el 2016 fue de 1,60 mg/L. La cantidad de Coliformes fecales en colonias por cada 100ml de muestra de agua fue de 5572 en el año 2021 y de 12800 en el año 2016. A la par de los resultados mencionados anteriormente, los Sólidos Totales, presentaron valores medios muy similares en los dos años: 193,11 mg/L en el 2021 y 185,00 mg/L en el 2016.

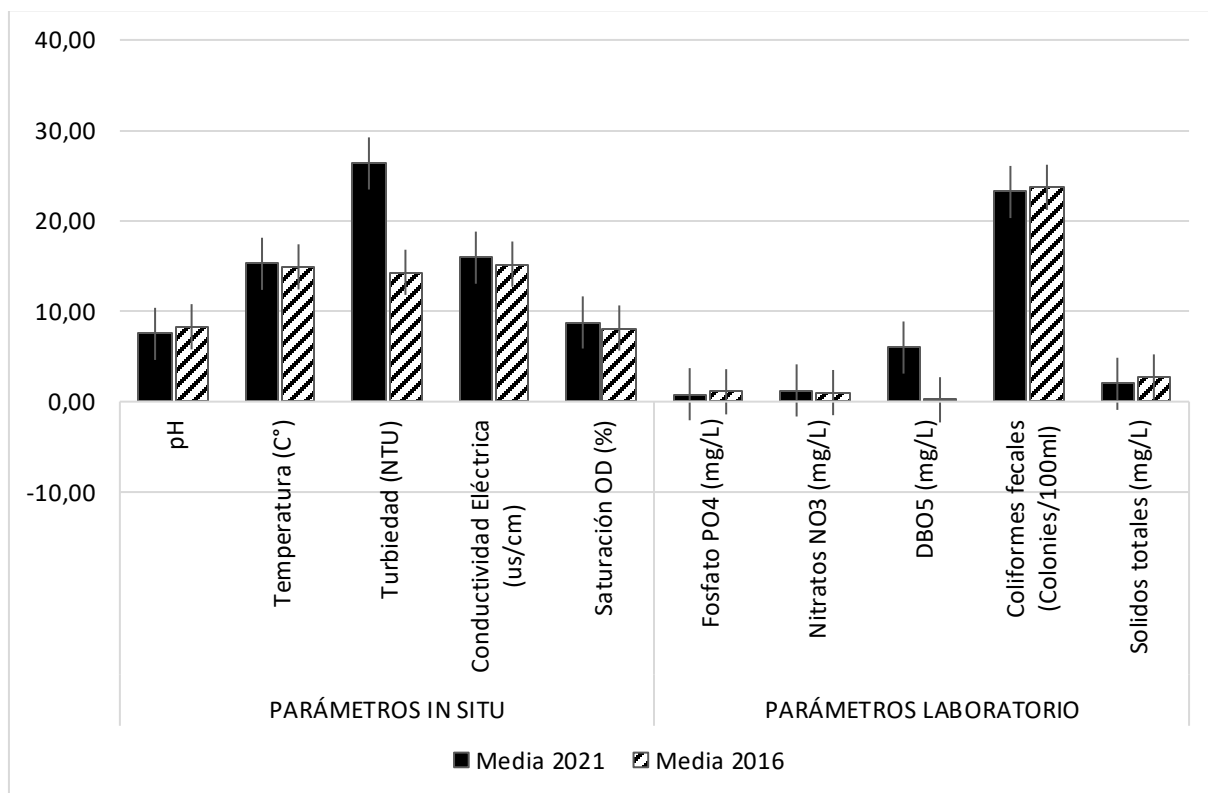


Figura 18. Medias de los parámetros físico-químicos obtenidas in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Guayabillas

Fuente: El Autor.

En base a los resultados obtenidos que se presentan en la Figura 18, en cuanto a los parámetros in situ promedios del punto de muestreo Guayabillas, se puede determinar que el valor del pH en el 2021 resulta ser inferior al observado en el 2016; en este caso 7,49 y 8,28, respectivamente. Por su parte, el valor de la temperatura es de 15,24°C, en el 2021, frente a 14,9°C en el 2016. En el caso de la Turbiedad se puede ver que esta es superior en el 2021 con un valor de 26,34 NTU, frente a los 14,3 NTU determinada en el 2016. La conductividad eléctrica fue superior en el año 2021 con un valor de 159,20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en contraste con 152,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ observado en el 2016. Adicionalmente, se puede ver que la saturación OD en el año 2021 es mayor a la del 2016, con valores de 87,56% y 81,39%, en cada año.

En el caso de los parámetros de laboratorio, se determinó que el fosfato SO_4 tomó un valor promedio de 0,82 mg/L, en el 2021; en contraste con el valor de 1,09 mg/L registrado en el año 2016. El comportamiento de los Nitratos NO_3 , indicó un valor promedio de 1,24 mg/L, en el 2021, el cual es superior 1,00 mg/L encontrado en el 2016. La Demanda Biológica de Oxígeno DBO_5 promedio, es de 59,80 mg/L en el 2021, mientras que su valor en el 2016 fue de 2,00 mg/L. La cantidad de coliformes fecales en colonias por cada 100ml de muestra de agua fue de 23184 en el año 2021 y de 23700 en el año 2016. A la par de estos resultados, los Sólidos Totales, presentaron los siguientes valores medios: 197,14 mg/L en el 2021 y 272,50 mg/L en el 2016.

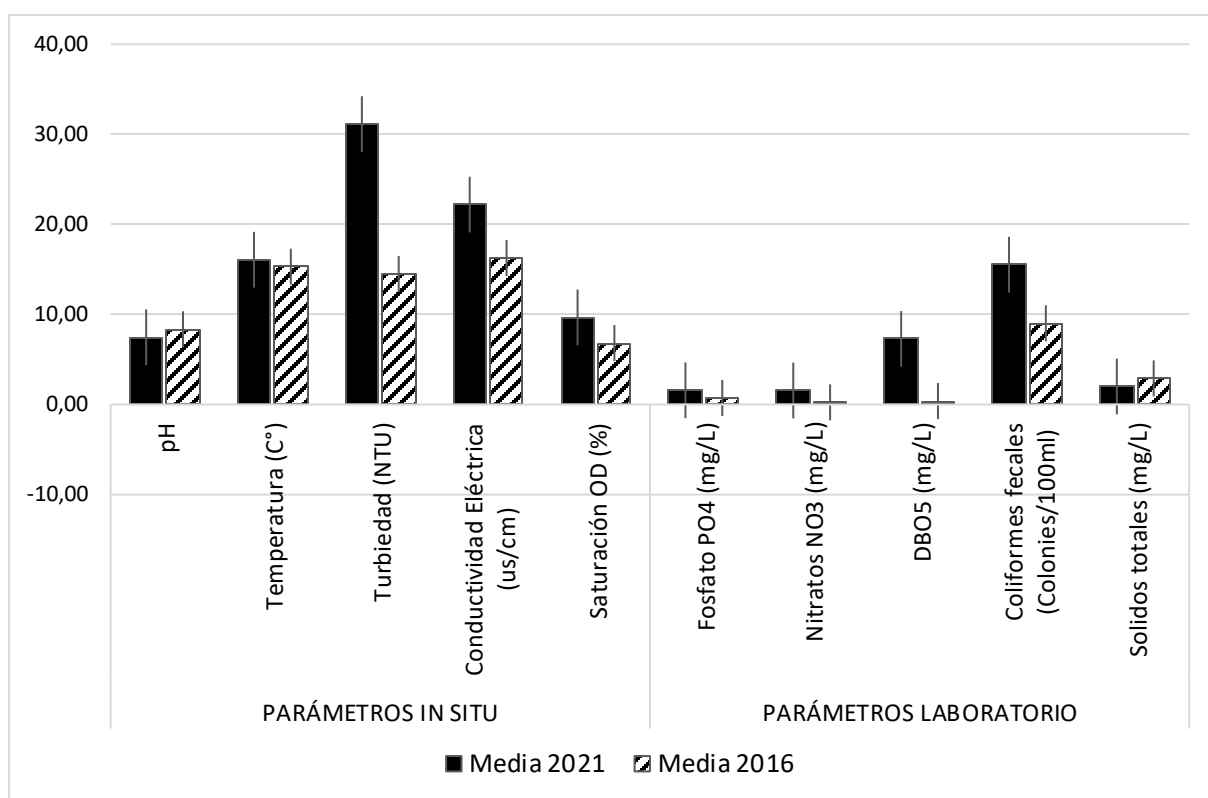


Figura 19. Medias de los parámetros físico-químicos obtenidas in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Puente Rojo.

Elaborado por: El Autor.

En base a los resultados que se presentan en la Figura 19, en cuanto a los parámetros in situ promedios del punto de muestreo Puente Rojo, se pudo determinar que el pH promedio en el 2021 resultó ser inferior al promedio del 2016; en este caso 7,46 y 8,35, respectivamente. Por su parte, el valor de la temperatura fue de 16,08°C, en el 2021, frente a 15,3°C en el 2016. La turbiedad en el 2021 tiene un valor de 31,13 NTU, frente a los 14,5 NTU en el 2016. La conductividad eléctrica fue superior en el año 2021 con un valor de 222,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en contraste con el 162,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ del 2016. Adicionalmente, se puede ver que la saturación OD en el año 2021 fue de 96,72% que es mayor a la del 2016; con un valor del porcentaje de saturación de oxígeno del 68,24%.

En el caso de los parámetros de laboratorio, se determinó que los Fosfatos SO_4 tienen un valor promedio de 1,58 mg/L; en contraste con el valor de 0,73 mg/L del año 2016. La situación de los Nitratos NO_3 , muestra un valor promedio en el año 2021 de 1,56 mg/L, el cual es superior al 0,24 mg/L encontrado en el 2016. La Demanda Biológica de Oxígeno DBO_5 , es de 72,80 mg/L en el 2021, mientras que su valor promedio en el 2016 fue de 3,90 mg/L. La cantidad de coliformes fecales en colonias por cada 100ml de muestra de agua fue de 155260 en el año 2021 y de 90200 en el año 2016. A la par de estos promedios, los Sólidos Totales, presentaron valores medios distantes en los dos años: 199,57 mg/L en el 2021 y 290,00 mg/L en el 2021.

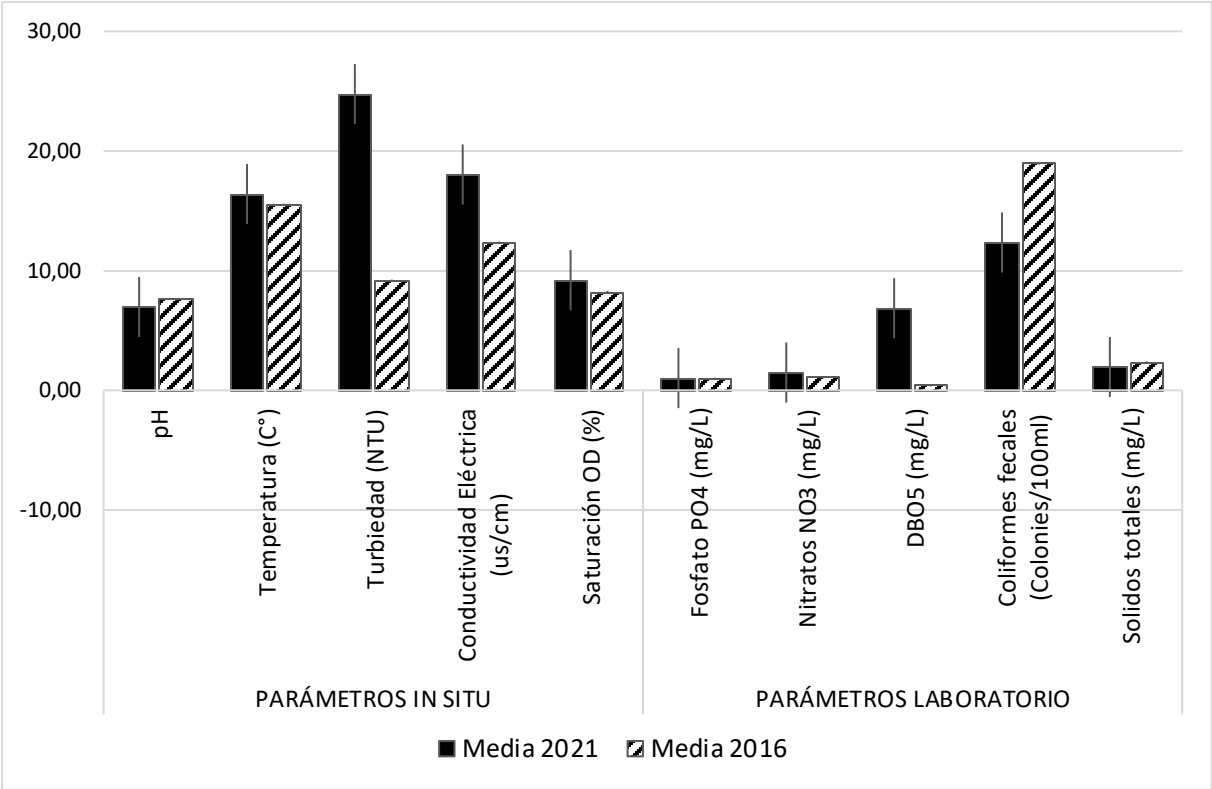


Figura 20. Medias de los parámetros físico-químicos obtenidas in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo 17 de Julio

Fuente: El Autor.

En base a los resultados descritos en la Figura 20, en cuanto a los parámetros in situ promedios del punto de muestreo 17 de Julio, se pudo determinar que el pH en el 2021 fue inferior al observado en el 2016; en este caso 6,96 y 7,59, respectivamente. Por su parte, el valor de la temperatura fue de 16,40°C en el 2021, frente a 15,5°C en el 2016. En el caso de la turbiedad, esta fue superior en el 2021 con un valor de 24,75 NTU, frente a los 9,15 NTU correspondientes al 2016. La conductividad eléctrica tuvo una media de 180,34 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el año 2021; mientras que, se registró un promedio de 123,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el 2016. Adicionalmente, se puede ver que la saturación OD fue de 92,08% en el año 2021 y 82,02%, en el 2016.

En el caso de los parámetros de laboratorio, los Fosfatos PO_4 tuvieron una media de 1,02 mg/L en el 2021; en contraste con el valor de 0,96 mg/L que se registró en el año 2016. Una situación similar se presentó en el comportamiento de los Nitratos NO_3 , donde el valor promedio en el año 2021 fue de 1,48 mg/L; y en el 2016 se registró una media de 1,10 mg/L. La Demanda Biológica de Oxígeno DBO_5 , es de 68,60 mg/L en el 2021; superior al promedio de 4,20 mg/L del año 2016. La cantidad de Coliformes fecales en colonias por cada 100ml de muestra de agua fue de 123520 en el año 2021 y de 189600 en el año 2016. A la par de estos resultados, los Sólidos Totales, presentaron los siguientes valores: 193,82 mg/L en el 2021 y 232,50 mg/L en el 2016.

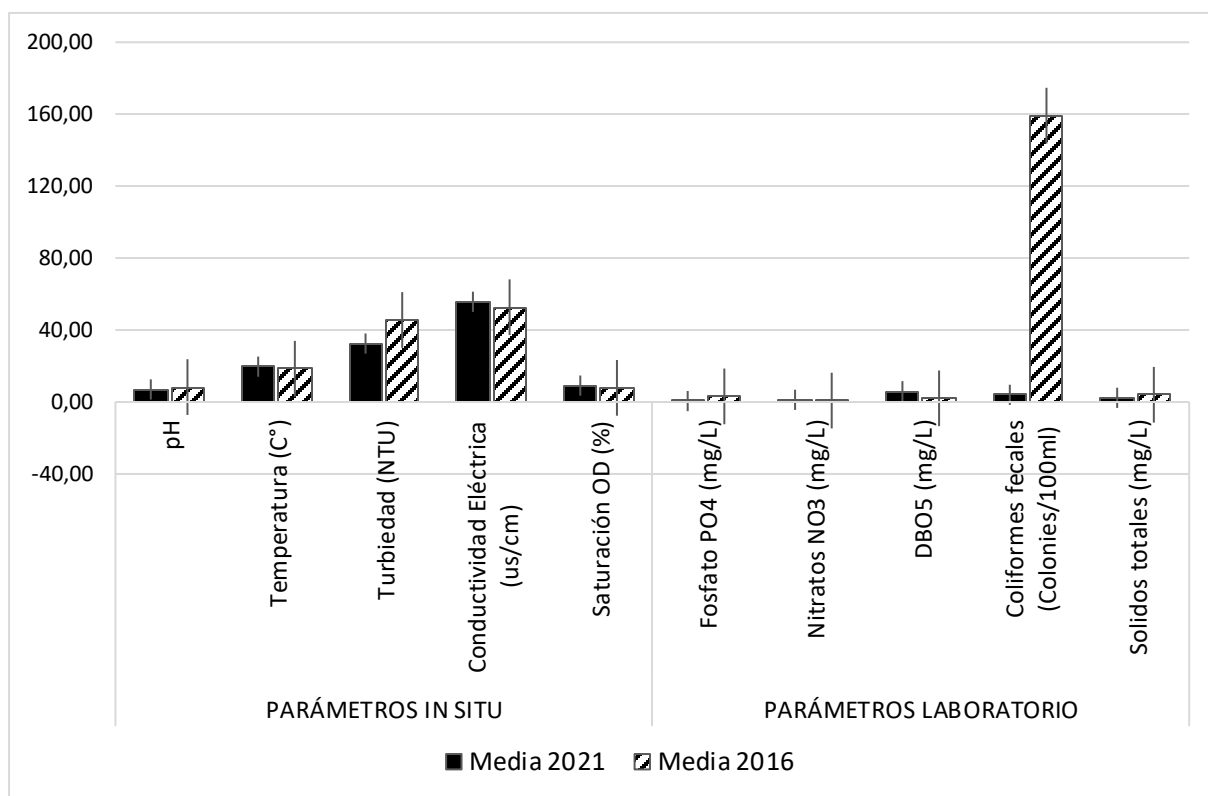


Figura 21. Medias de los parámetros físico-químicos obtenidas in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Tahuando Final.

Fuente: El Autor.

A partir de los resultados que se describen en la Figura 21, los parámetros in situ promedios del punto de muestreo final de río Tahuando, permitieron determinar que el valor del pH en el 2021 fue inferior al estimado en el 2016; en este caso 6,98 y 8,3, respectivamente. Por su parte, la temperatura fue de 19,64°C en el 2021, frente a 18,5°C correspondientes al 2016. En la turbiedad se pudo observar en el 2021 un valor de 32,49 NTU, frente a los 45,6 NTU apreciado en el 2016. La conductividad eléctrica fue superior en el año 2021 con un valor de 557,20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en contraste con el promedio de 527 $\mu\text{S}/\text{cm}$ examinados en el 2016. Adicionalmente, la saturación OD en el año 2021 es mayor a la del 2016, con valores de 91,18% y 78,9%, en cada año.

En el caso de los parámetros de laboratorio, se determinó que los Fosfatos PO_4 determinaron una media de 0,52 mg/L en el año 2021; en contraste con el valor de 3,11 mg/L registrado en el año 2016. El comportamiento de los Nitratos NO_3 , muestra un valor promedio de 1,22 mg/L en el 2021, es superior a 0,80 mg/L encontrado en el 2016. La Demanda Biológica de Oxígeno DBO_5 , es de 59,80 mg/L en el 2021, mientras que, en el 2016 fue de 20,40 mg/L. La cantidad de Coliformes fecales en colonias por cada 100ml de muestra de agua fue de 40072 en el año 2021 y de 1592000 en el año 2016; lo cual pone en manifiesto una gran diferencia entre las medias de estos dos años. A la par de los resultados antes mencionados, los Sólidos Totales, presentaron una media de 232,11 mg/L en el año 2016; y una media de 402,50 mg/L en el 2021.

5.4 Resultados del Índice de Calidad de Aguas NSF en el río Tahuando

Los resultados cuantificados permiten el análisis de mejor manera para el índice de calidad (NSF) del río en estudio. Se obtuvieron los índices de cada punto de muestreo (Tabla 17), con base en la metodología propuesta que corresponde a la ponderación de los nueve parámetros medidos.

Tabla 17.

Índice de Calidad de Aguas NSF del río Tahuando por puntos de muestreo

No.	Punto de Muestreo	ICA 2021	Categoría de calidad ICA
1	Romerillo	59,20	Buena
2	Guayabillas	54,80	Buena
3	Puente Rojo	47,80	Mala
4	17 de Julio	52,80	Buena
5	Tahuando final	53,60	Buena

Nota: El Índice de Calidad de Aguas de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF) Determina la categoría para aguas según su rango de calidad (Tabla 2)

Fuente: El Autor.

La Tabla 14 indica los valores del ICA – NSF, para los puntos de muestreo (Anexo I:1.2, 1.4, 1.6, 1.7 y 1.8). Se observa que en un punto de muestreo (Puente Rojo) existe la caída del índice de calidad mientras se incrementa en las estaciones Guayabillas y Romerillo.

Brown (1970) establece el rango de clasificación para el índice de aguas NSF, donde según los valores obtenidos la calidad de Puente Rojo es Mala; siendo necesario para su uso un tratamiento de potabilización. En los cuatro puntos restantes el rango es Media (17 de Julio, Tahuando final, Guayabillas y Romerillo) un indicador que su consumo es dudoso sin la debida purificación.

5.4 Comparación de los Índice de Calidad del Agua ICA de los 5 Puntos Determinados.

Tabla 18

Descriptivos del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Romerillo

Romerillo		Media	SD	CV
	Índice de calidad de agua (Overall) 2021	59,20	2,68	0,05
ICA	ICA 2016	68,80	3,56	0,05
	Diferencia	-9,60	3,65	0,38

Fuente: El Autor.

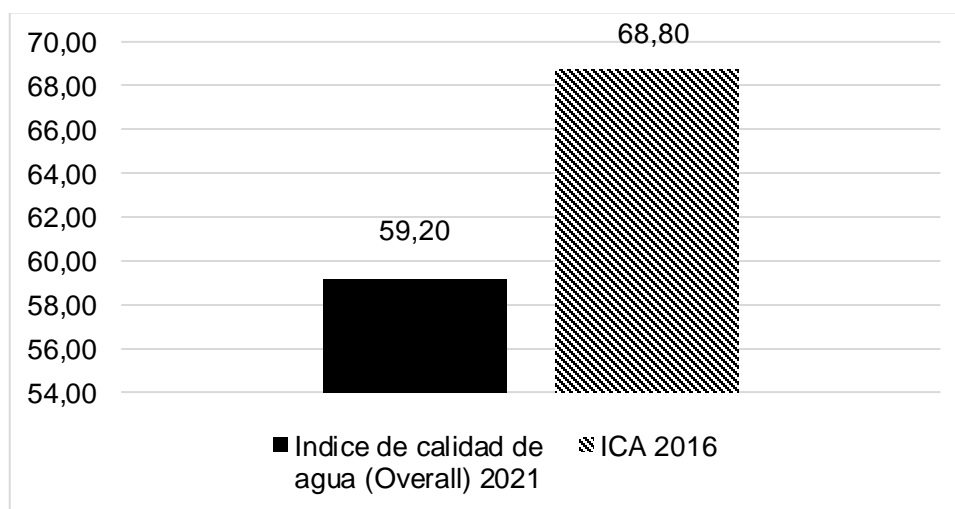


Figura 22. Medias del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Romerillo.

A partir de los resultados de la Tabla 18 y Figura 22, se pudo determinar que, el promedio del Índice de Calidad de Agua ICA, toma un valor de 59,20 pts. en el año 2021; mientras que en el 2016 tenía un promedio de 68,80 pts., lo cual indica que esta calidad es menor ahora que hace 6 años.

Tabla 19

Comparación del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Romerillo

Romerillo		Shapiro-Wilk		t-Student	
		Estadístico	P-valor*	Estadístico	P-valor
ICA	Diferencia	0,9738	0,8989	-0,2899	0,7863

* Si p-valor>0,05 se usa t-Student. Cuando el p-valor < 0,05 se usa pruebas no paramétricas.

Fuente: El Autor

El primer punto previo a la comparación de medias fue analizar la normalidad de los datos. Tomando en cuenta la cantidad baja de registros que forman parte de la muestra se opta por usar la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar esta hipótesis: Ho: la variable se proviene de una población con parámetros normales. En este sentido, se rechaza Ho siempre y cuando el p-valor sea menor que 0,05. La prueba de normalidad aplicada a las variables de estudio muestra que se ajustan a una distribución normal; esto es, el p-valor de la prueba Shapiro-Wilk es mayor a 0,05. Así, es prudente usar la prueba t-Student en aquellas variables que si aprobaron el test de normalidad.

La prueba de comparación de medias puso en evidencia que el ICA (p=0,7863), no se diferencian significativamente entre los dos años de estudio; es decir, el promedio de estos parámetros, en el año 2021, es estadísticamente similar al observado en el año 2016.

Tabla 20

Descriptivos del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Guayabillas

Guayabillas		Media	SD	CV
	Índice de calidad de agua (Overall) 2021	54,80	1,64	0,03
ICA	ICA 2016	68,00	2,92	0,04
	Diferencia	-13,20	3,56	0,27

Fuente: El Autor.

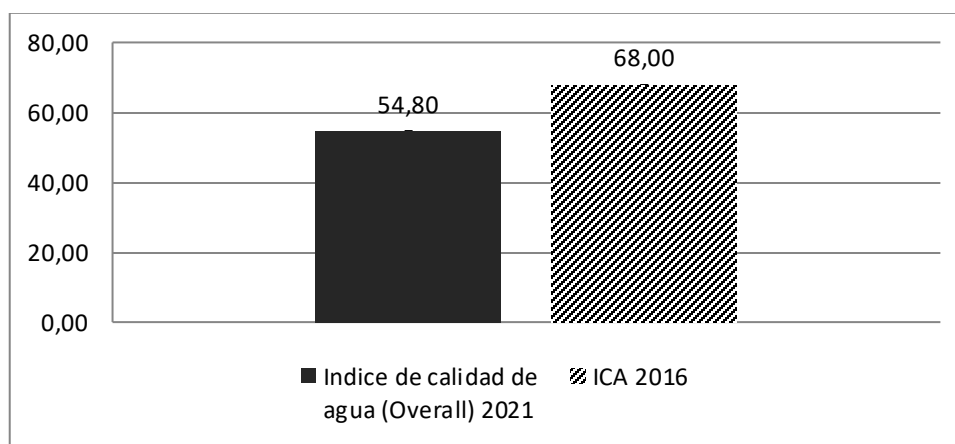


Figura 23. Medias del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Guayabillas

Fuente: El Autor.

A partir de los resultados de la Tabla 20 y Figura 23, se pudo establecer que, el promedio del Índice de Calidad de Agua ICA, toma un valor de 54,80 pts. en el año 2021; mientras que en el 2016 tenía un promedio de 68,00 pts., lo cual indica que esta calidad es menor ahora que hace 6 años.

Tabla 21

Comparación del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Guayabillas

Guayabillas		Shapiro-Wilk		t-Student	
		Estadístico	p-valor*	Estadístico	p-valor
ICA	Diferencia	0,8633	0,2402	-0,7906	0,4734

* Si p-valor>0,05 se usa t-Student. Cuando el p-valor < 0,05 se usa pruebas no paramétricas.

Fuente: El Autor.

La prueba de normalidad aplicada a las variables de estudio, en el caso de Guayabillas, muestra que se ajustan a una distribución normal; esto es, el p-valor de la prueba Shapiro-Wilk es mayor a 0,05. Así, es prudente usar la prueba t-Student en aquellas variables que si aprobaron el test de normalidad. La prueba de comparación de medias puso en evidencia que el ICA (p=0,4734), no se diferencia significativamente entre los dos años de estudio; es decir, el promedio de este parámetro, en el año 2021, es estadísticamente similar al observado en el año 2016.

Tabla 22

Descriptivos del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Puente Rojo

Puente Rojo		Media	SD	CV
ICA	Índice de calidad de agua (Overall) 2021	47,80	4,60	0,10
	ICA 2016	61,80	4,60	0,07
	Diferencia	-14,00	6,44	0,46

Fuente: El Autor.

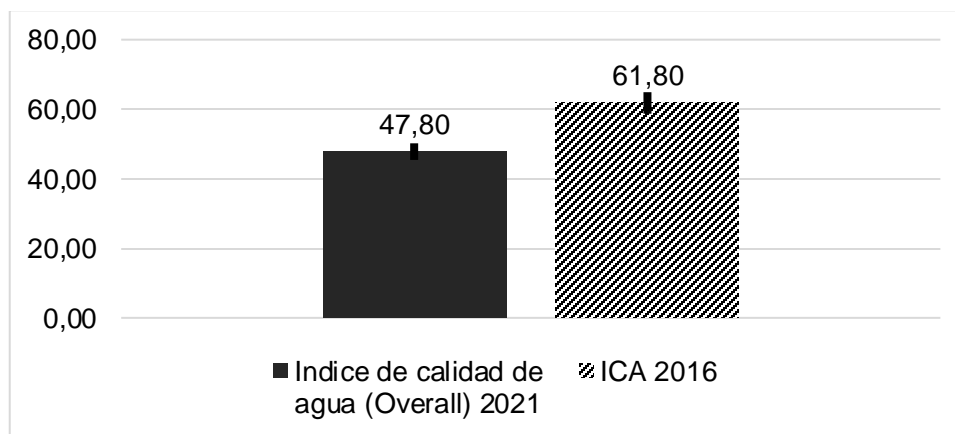


Figura 24. Medias del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Puente Rojo.

Fuente: El Autor.

A partir de los resultados descritos en la Tabla 22 y Figura 24, fue posible establecer que, el promedio del Índice de Calidad de Agua ICA, toma un valor de 47,80 pts. en el año 2021; mientras que en el 2016 tuvo un promedio de 61,80 pts., lo cual indica que esta calidad es menor ahora que hace 6 años.

Tabla 23

Comparación del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Puente Rojo

Puente Rojo		Shapiro-Wilk		t-Student	
		Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor
ICA	Diferencia	0,9141	0,4927	-6,6402	0,0027

* Si $p\text{-valor} > 0,05$ se usa t-Student. Cuando el $p\text{-valor} < 0,05$ se usa pruebas no paramétricas.

Fuente: El Autor.

La prueba de normalidad aplicada a las variables de estudio, en el caso de Puente Rojo, muestra que se ajustan a una distribución normal; esto es, el p-valor de la prueba Shapiro-Wilk es mayor a 0,05. Así, es prudente usar la prueba t-Student en aquellas variables que si aprobaron

el test de normalidad. La prueba de comparación de medias puso en evidencia que el ICA ($p=0,0027$) en el 2021; tienen una media estadísticamente inferior al promedio estimado del 2016.

Tabla 24

Descriptivos del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo 17 de julio

17 de Julio		Media	SD	CV
	Índice de calidad de agua (Overall) 2021	52,80	1,92	0,04
ICA	ICA 2016	54,40	8,11	0,15
	Diferencia	-1,60	9,71	6,07

Fuente: El Autor.

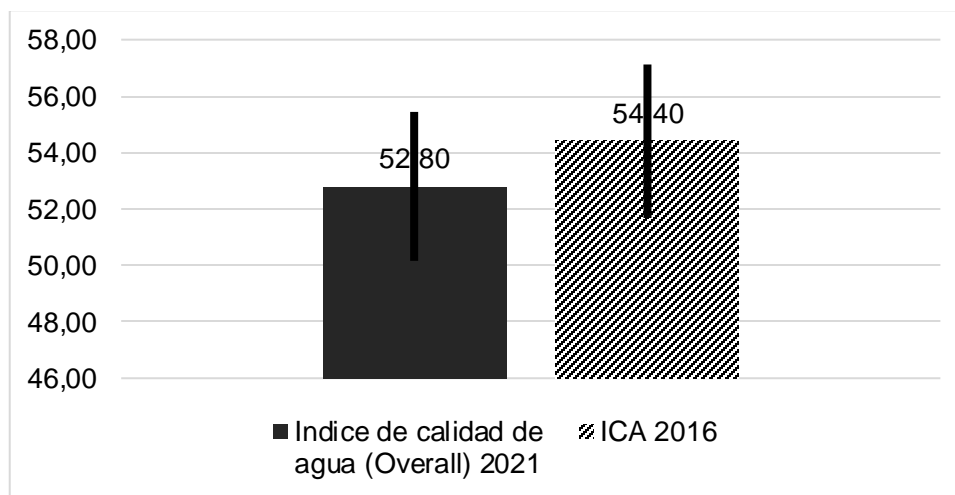


Figura 25. Medias del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo 17 de Julio

Fuente: El Autor.

A partir de los resultados descritos en la Tabla 24 y Figura 25, fue posible establecer que, el promedio del Índice de Calidad de Agua ICA, toma un valor de 52,80 pts. en el año 2021; mientras que en el 2016 tenía un promedio de 54,40 pts., lo cual indica que esta calidad fue ligeramente mayor en el año 2016.

Tabla 25

Comparación del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo 17 de Julio

17 de Julio		Shapiro-Wilk		t-Student	
		Estadístico	p-valor*	Estadístico	p-valor
ICA	Diferencia	0,9365	0,6415	-5,3156	0,0060

* Si p-valor > 0,05 se usa t-Student. Cuando el p-valor < 0,05 se usa pruebas no paramétricas.

Fuente: El Autor.

La prueba de normalidad aplicada a las variables de estudio, en el caso de punto de muestreo 17 de Julio, muestra que se ajustan a una distribución normal; esto es, el p-valor de la prueba Shapiro-Wilk es mayor a 0,05. Así, es prudente usar la prueba t-Student en aquellas variables que si aprobaron el test de normalidad. La prueba de comparación de medias puso en evidencia

que el ICA ($p=0,0060$) en el 2021; tienen una media estadísticamente igual al promedio estimado del 2016.

Tabla 26

Descriptivos del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Tahuando final

Tahuando final		Media	SD	CV
ICA	Índice de calidad de agua 2021(Overall)	53,60	2,07	0,04
	ICA 2016	55,80	6,14	0,11
	Diferencia	-2,20	5,54	2,52

Fuente: El Autor.

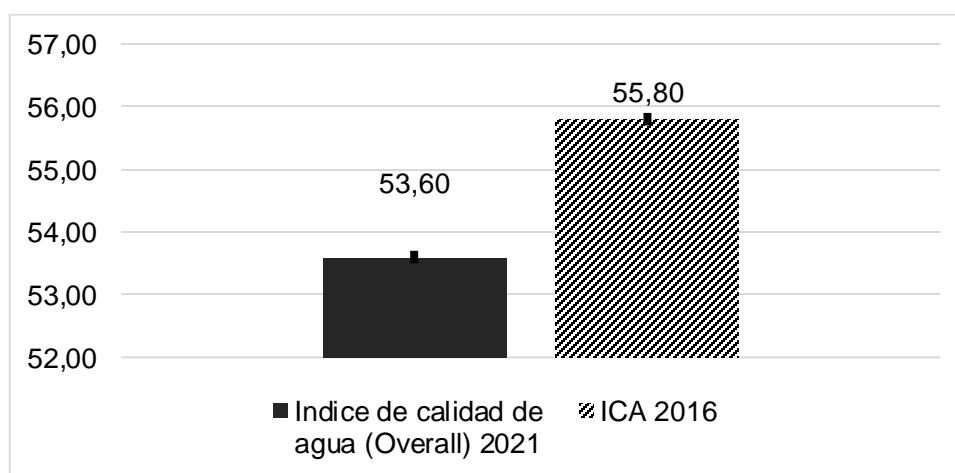


Figura 26. Medias del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Tahuando final

Fuente: El Autor.

A partir de los resultados descritos en la Tabla 26 y Figura 26, fue posible establecer que, el promedio del Índice de Calidad de Agua ICA, fue muy similar en los dos años de estudio, y esta toma un valor de 53,60 pts. en el año 2021; y un promedio de 55,80 pts. en el 2016, lo cual indica que esta calidad fue ligeramente superior en el año 2016.

Tabla 27

2 Comparación del Índice de Calidad del Agua del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Tahuando final.

Tahuando Final		Shapiro-Wilk		t-Student	
		Estadístico	p-valor*	Estadístico	P-valor
ICA	Diferencia	0,8621	0,2359	-2,0809	0,1059

* Si p-valor > 0,05 se usa t-Student. Cuando el p-valor < 0,05 se usa pruebas no paramétricas.

Fuente: El Autor.

La prueba de normalidad aplicada a las variables de estudio, en el caso de punto de muestreo final del río Tahuando, muestra que se ajustan a una distribución normal; esto es, el p-valor de la prueba Shapiro-Wilk es mayor a 0,05. Así, es prudente usar la prueba t-Student en aquellas variables que sí aprobaron el test de normalidad. Por su parte, la prueba de comparación de medias puso en evidencia que el ICA ($p=0,1059$), no se diferencian significativamente entre los dos años de estudio; es decir, el promedio de este parámetro, en el año 2021, es estadísticamente similar al observado en el año 2016.

5.4.1 Comparación del muestreo realizado con el índice de calidad ICA del año 2016.

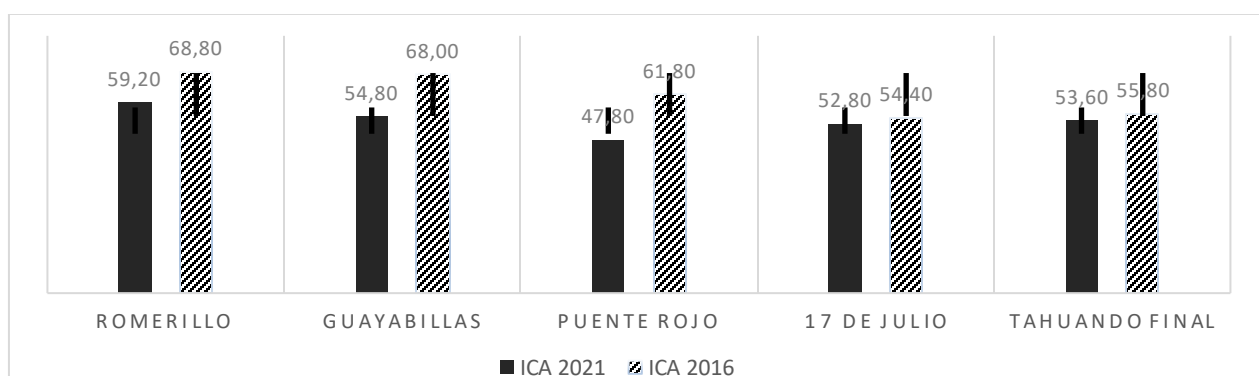


Figura 27. Medias del índice de calidad del año 2016 vs 2021

Elaborado por: El Autor.

Para el río Tahuando se promediaron los valores del ICA – NSF de los puntos de muestreo establecidos en este estudio (ICA 2021), así también los valores obtenidos en el ICA 2016. En la Figura 27 se puede observar que existe una notable diferencia al comparar los índices siendo las estaciones 17 de Julio y Tahuando Final donde no existe diferencia significativa con relación a la calidad del agua, manteniéndose en Media como indica Brown (1970), citado por Castro (2016).

A su vez para las estaciones de Puente Rojo, Guayabillas y Romerillo se denota una disminución de la calidad siendo la más representativa en Puente Rojo, donde según Castro (2016), indica que el índice obtenido se sitúa en la escala Media (51 – 70 ICA) en este tipo de agua la diversidad de organismos acuáticos es menor siendo un agua contaminada por agentes externos. Dentro del presente estudio el estado de Puente Rojo cambio a Mala (menor a 50 ICA) con un valor de 47,80 siendo inaceptable para consumo humano y requiere un tratamiento.

En la estación Guayabillas se redujo la calidad del agua en 13,20 puntos con esto se mantiene dentro de la escala Media, un valor importante siendo la tendencia a seguir descendiendo. Romerillo obtuvo un índice de 59,20 (ICA 2021) en comparación a 2016 siendo de 68,80 en este punto de muestreo casi se alcanza la escala de Buena (71 – 90 ICA), dentro del área de estudio indicando que algún agente contaminante está afectando la calidad del agua.

5.6 Socialización de los resultados

El 2 de agosto del 2021 se impartió mediante la plataforma Google Meet la socialización de la investigación con delegados de instituciones como el Gobierno Provincial de Imbabura, Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, docentes y estudiantes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (Anexo 2.19).

Los asistentes llenaron una encuesta en la que consideran que el estudio tiene relevancia social, ya que mediante investigaciones complementarias se logrará concientizar sobre la importancia de la preservación del sistema natural del río.



Figura 28. Socialización de la investigación, oratoria impartida por el autor en el auditorio de la prefectura de Imbabura.

El día 13 de octubre del 2021, a petición del Gobierno Provincial de Imbabura se socializaron los resultados ante los diferentes actores relacionados con la problemática y las autoridades del área ambiental. De igual manera se presentaron los resultados de este estudio ante la Comisión Técnica en pro de la recuperación del río Tahuando (figura 28) la que tuvo como consecuencia la planificación y coordinación para llevar a cabo la continuidad del cometido “la recuperación ambiental e infraestructura del río” esto realizado el día 14 de octubre del 2021.



Figura 29 comisión técnica en pro de la recuperación del río Tahuando, G.A.D. Ibarra, octubre 2021

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- Existe diferencia entre los índices de la calidad de agua del año 2016 y del 2021, que oscilan entre rango entre 47,8 y 68,80; Puente Rojo es el único punto con un rango de calidad “MALA” según Brown (1970); siendo necesario para su uso, un tratamiento de saneamiento. En los cuatro puntos restantes el rango es “MEDIA” (17 de Julio, Tahuando final, Guayabillas y Romerillo) esta calidad indica que su consumo y uso recreacional es inaceptable para el ser humano sin la debida purificación.
- El punto de muestreo Puente rojo ubicado en la comunidad la Victoria tiene 3 afluentes de aguas negras causando un impacto organoléptico muy fuerte, tanto en la turbiedad cómo en la presencia de coliformes fecales, esto se refleja en la diferencia de la media del valor ICA obtenido en el 2016 vs 2021 siendo un valor negativo de 14,00. Siendo este el punto en el que la calidad de agua ha bajado más que los otros 4 puntos desde el año 2016 al 2020.
- 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 que no cumplen en ningún punto de muestreo son: Coliformes Fecales y DBO5 sobrepasando los límites máximos permisibles. La conductividad eléctrica es un parámetro que tampoco cumple con los límites solamente en dos puntos: Puente Rojo y Tahuando final.
- La desviación estándar de los parámetros se mantuvo estable, sin embargo, en los parámetros de coliformes fecales y turbiedad, fueron valores elevados indicando valores atípicos en el muestreo.

- Según la prueba de normalidad aplicada a los parámetros se ajustaron a una distribución normal sin embargo en la prueba de comparación de medias en los puntos de muestreo Romerillo, Guayabillas y Tahuando Final se pudo evidenciar que el ICA no se diferencia significativamente entre los dos años de estudio es decir que son estadísticamente iguales. Solamente los puntos de muestreo: Puente Rojo y 17 de Julio (estos ubicados antes de la PTAR-I). Se considera que estos valores si fueron diferentes ya que están afectados directamente por efluentes de aguas negras.
- Se considera que el ICA en el punto de muestreo Tahuando Final no se diferenció significativamente entre los dos años de estudio es decir son estadísticamente iguales y es de suma importancia la presencia de la PTAR, ya que si no existiera ningún tipo de tratamiento la calidad de agua en este punto sería muy mala o crítico según la escala del ICA NSF de Brown (1971).
- El parámetro con valores atípicos fue la turbiedad con un rango entre 14,30 y 89,60 (NTU) esto se debe al tiempo y horario de toma de datos ya que sus valores incrementan en tiempos de altas precipitaciones.
- Los valores de Fosfatos y turbidez medidos en el punto final de la desembocadura del río Ambi son relativamente elevados debido a que atraviesa un área denominada “Mina de san José” que según Flores y Ruiz, (2011), tiene un suelo de carácter salino de donde se explota material pétreo.
- La socialización tuvo un gran impacto sobre los delegados de las instituciones públicas, demostraron su preocupación frente al estado de la calidad de agua del río puesto que se ha demostrado que en los 5 últimos años ha empeorado a pesar de la existencia de la Planta de tratamiento.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- Establecer programas de monitoreo que permitan evaluar adecuada y secuencialmente los cambios dinámicos de la calidad de agua del río Tahuando.
- Para mantener un rango de normalidad en los resultados convendría tomar las muestras in situ con el mismo horario y fechas, ya que las épocas climáticas de estiaje o aumento de precipitación afectan directamente los resultados del estudio
- Mantener un control en los vertidos de aguas contaminadas en el Río.
- Realizar señalizaciones donde se prohíba el uso recreacional de personas en el área.
- Evaluar la cantidad y el caudal de los colectores y posibles efluentes clandestinas que existen en el transcurso del cuerpo de agua especialmente en el área con mayor incidencia antropogénica, ya que esto puede alterar súbitamente la calidad de agua.
- Diseñar e implementar un sistema que conecte a todos los colectores con la PTAR Ibarra para que se evite la descarga de aguas negras en toda la confluencia de la microcuenca evitando el impacto ambiental en zonas pobladas, esto ayudaría considerablemente a la auto depuración natural del río Tahuando.
- Cumplir con la normativa actual vigente sobre el uso de suelo en las orillas del río Tahuando ya que en las visitas de campo se pudo apreciar un mal uso del espacio como criaderos pequeños de ganado porcino y también vacuno pastando cerca a la orilla,

- Educar a los dirigentes barriales sobre la problemática y el grado de contaminación que sufre este sistema, para aunar esfuerzos en pro de la conservación y recuperación del río Tahuando.

CAPITULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agropecuaria, I. N. (2011). https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-protocolo_de_muestreo_de_aguas_inta.pdf. Recuperado el 21 de Enero de 2021, de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-protocolo_de_muestreo_de_aguas_inta.pdf
- APHA, AWWA, & WEF. (1998). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Diaz de Santos S.A.
- Araujo, V., Chávez, E. R., Garayar, H. G., & Álvarez, A. (2021). calidad del agua del río ichu en zonas urbanas del distrito de huancavelica según ica-nsf. *Revista Científica Siglo XX*, 53-60.
- Arcentales Ríos , Y., & Carrión Méndez, A. (05 de Mayo de 2021). [www.dspace.ucuenca.edu.ec](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/36134/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf). Recuperado el Julio de 2021, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/36134/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf>
- Arrieta Pastrana, A., ElJaiek Urzola, M., Álvarez Rebollo, A., & Rojas Giraldo, X. (Julio de 2013). <https://docplayer.es/56137952-Plan-de-ordenamiento-y-manejo-de-la-cuenca-hidrografica-del-rio-fundacion.html>. Recuperado el Agosto de 2020, de <https://docplayer.es/56137952-Plan-de-ordenamiento-y-manejo-de-la-cuenca-hidrografica-del-rio-fundacion.html>
- Bolaños, D. (24 de Julio de 2020). <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/22376/1/T-ESPE-043719.pdf>. Recuperado el 2021 de Enero de 22 , de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/22376/1/T-ESPE-043719.pdf>
- Calvo Brenes, G., & Mora Molina, J. (Julio de 2019). dialnet.unirioja.es. Recuperado el 29 de Enero de 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835661>
- Castro, J. (Octubre de 2016). <http://repositorio.utn.edu.ec/>. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7680/1/PG%20560%20TESIS.pdf>
- Center, W. R. (2021). *Water Quality Index Calculator for Surface Water*. Obtenido de <https://www.knowyourh2o.com/outdoor-3/water-quality-index-calculator-for-surface-water>
- Chaparro Vélez, S. (2020). www.repository.ucatolica.edu.co. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/24838>
- Chaparro, S. (Agosto de 2020). <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24838/1/101%20Trabajo%20de%20grado%20-%20504283.pdf>. Recuperado el Junio de 2021, de

- <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24838/1/101%20Trabajo%20de%20grado%20-%20504283.pdf>
- Coello, J. (01 de 08 de 2013). <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe>. Recuperado el 10 de Agosto de 2020, de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11281/10118>
- Criollo, J. S., & Castro, A. L. (Junio de 2021). <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/14110>. Recuperado el Julio de 2021, de <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/14110>
- Cruz Correa, M. (Junio de 2020). www.igibuo.uniovi.es. Recuperado el Junio de 2021, de https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/59658/TFM_Mar%C3%ADaCruzCorrea.pdf?sequence=4
- Dunán, P. (Septiembre de 2019). <http://ninive.ismm.edu.cu>. Recuperado el Agosto de 2020, de <http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3699/DunanAvila2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- EMAPA-I. (1 de Octubre de 2018). <https://emapaibarra.gob.ec/>. Recuperado el 10 de Junio de 2021, de <https://emapaibarra.gob.ec/PTAR-inaugurada-detalles-técnicos/>
- Félez, S. (2009). Situación actual del estado de la depuración biológica . *Calculated hydraulic Characteristics. Enviromental Modeling y Assessment*, 17-21.
- Flores Ruiz, M. (2011). *Propuesta para el manejo sustentable del suelo mediante el uso de tres abonos orgánicos elaborados con materias primas vegetales en la Playa de Ambuquí, Provincia de Imbabura*. Obtenido de https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=suelo+de+ambuqui+imbabura&btnG=#d=gs_cit&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3AjT8qHt0DKgYJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26hl%3Des
- Fontalvo-Julio, F. (23 de Agosto de 2018). <http://revistas.unimagdalena.edu.co>. Recuperado el 10 de Agosto de 2020, de <http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/2510/1819>
- Isch López, A. F. (2018). <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16502>. Recuperado el Julio de 2021, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16502>
- Kehr S, J., Morales, B., Contreras, P., & Castillo, L. (Diciembre de 2004). <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182004000400005>. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182004000400005>
- MAE. (2015). *Acuerdo Ministerial 097-A*. Quito, Ecuador.
- Mazzorana, B., Santibáñez, N., Irribarren, P., Mao, L., & Rojas, I. (30 de 04 de 2021). <https://doi.org/10.4995/Ia.2021.13921>. Recuperado el 2021 de 05 de 28, de <https://doi.org/10.4995/Ia.2021.13921>
- McLellan. (Enero de 2021). <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2009.02075>. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2009.02075>.

- Mencías Recalde, D. C. (2018). <http://www.dspace.uce.edu.ec/>. Recuperado el Junio de 2021, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16895/1/T-UCE-0017-IQU-014.pdf>
- Nariño, U. d. (Febrero de 2017). <https://repository.usta.edu.co>. Recuperado el 12 de Febrero de 2021, de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/940/2014anabruce2.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- Navarro, M. O. (04 de Julio de 2007). [www.Ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co). Recuperado el Julio de 2021, de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>
- Noya, M. (Junio de 2020). <http://www.scielo.org>. Recuperado el Febrero de 2021, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2225-87872020000100004&script=sci_arttext
- Oram, B. (2020). www.water-research.net/. Recuperado el Junio de 2021, de <https://water-research.net/>
- Osorsio Ortega, M., García Gonzáles, J., & Saquicela Rojas, R. (1 de Abril de 2021). <https://iwaponline.com/>. Recuperado el 18 de Junio de 2021, de <https://doi.org/10.4995/ia.2021.13921>
- Ostrom, E. (2014). Más allá de los mercados y los Estados: gobernanza policéntrica de sistemas económicos complejos. *Revista Mexicana de Sociología*, 15-17. Recuperado el 2021 de Agosto de 12
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., & Zambrano, J. (2019). *Impactos de la contaminación sobre los manglares de Ecuador. Manglares de América*, 375-419. Recuperado el 30 de Enero de 2021, de https://www.researchgate.net/profile/Beatriz-Pernia/publication/337424161_impactos_de_la_contaminacion_sobre_los_manglares_de_ecuador/links/5dd69eada6fdcc5b17c575de/impactos-de-la-contaminacion-sobre-los-manglares-de-ecuador.pdf
- Quiroz, L. S. (Marzo de 2018). <http://scielo.sld.cu/scielo>. Recuperado el Junio de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000100008
- Rojas, R. T. (Septiembre de 2013). <http://132.248.9.195/ptd2013/agosto/0700391/0700391.pdf>. Recuperado el 12 de Junio de 2021, de <http://132.248.9.195/ptd2013/agosto/0700391/0700391.pdf>
- Rosero, M. (3 de Enero de 2018). <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7745>. Recuperado el 20 de Octubre de 2020, de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7745>
- Sabadías, A. V. (1995). *Estadística descriptiva e inferencial*. España: Universidad de Castilla-La Mancha.
- Sagan, C. (2000). *Miles de millones*. Madrid, España: Ediciones B.
- Salvador, S. N. (2009). <http://www.snet.gob.sv/>. Obtenido de <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pdf>

- Schraft, H. &. (2005). Enumeration of heterotrophs, fecal coliforms and Escherichia coli in water: comparison of 3M™ Petrifilm™ plates with standard plating procedures. . *Journal of microbiological methods*, 335-342. Recuperado el 2021
- Sperotto, R. A. (2014). *Protocolos y métodos de análisis en laboratorios de biotecnología agroalimentaria y de salud humana*. (A. Pozzobon, Augusto Alves , Beatris Francisca Chemin , & Fernanda Cristina Wiebusch Sindelar, Edits.) Lajeado, RS, Brasil: Univates. Recuperado el Junio de 2021
- Tapia, C., & Cevallo, K. (2021). Pruebas no paramétricas para determinar la aleatoriedad de los datos en procesos productivos y procedimientos para calcular estadísticas en pareja. *Ciencia, Economía y Negocios*, 97-118.
- Universo, E. (13 de Junio de 2017). El río Tahuando es declarado patrimonio sagrado indígena. *El Universo*, págs. 15-17. Recuperado el 2021
- Valverde, D. (16 de Enero de 2019). *repositorio.utn.edu.ec*. Recuperado el 10 de Junio de 2021, de [http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8865/8/04%20MEL%](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8865/8/04%20MEL%20)

ANEXOS I

Anexos 1.1:

Resultados estadísticos de los indicadores físico- químicos

Descriptivos de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Romerillo

Romerillo		Media	SD	CV	Media 2016	
IN SITU	pH	7,40	0,24	0,03	8,24	
	PARÁMETROS	Temperatura (C°)	14,52	0,99	0,07	15,1
		Turbiedad (NTU)	19,55	6,64	0,34	89,6
		Conductividad Eléctrica (us/cm)	153,12	16,91	0,11	130,1
		Saturación OD (%)	94,34	11,32	0,12	80,45
LABORATORIO		Fosfato PO ₄ (mg/L)	0,40	0,23	0,59	0,73
		Nitratos NO ₃ (mg/L)	1,22	0,13	0,11	0,80
	PARÁMETROS	DBO ₅ (mg/L)	50,00	16,19	0,32	1,60
		Coliformes fecales (Colonies/100ml)	5572	2997	0,54	12800
		Solidos totales (mg/L)	193,11	79,19	0,41	185,00
ICA		Indice de calidad de agua (Overall)	59,20	2,68	0,05	
		ICA 2016	68,80	3,56	0,05	
		Diferencia	-9,60	3,65	0,38	

Fuente: El Autor.

Anexo 1.2.

Comparación de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Romerillo

Romerillo		Shapiro-Wilk		Comparación de medias	
		Estadístico	p-valor*	Estadístico	p-valor
PARÁMETROS IN SITU	pH	0,9048	0,4368	-7,7427	0,0015
	Temperatura (C°)	0,8961	0,3888	-1,3155	0,2587
	Turbiedad (NTU)	0,7851	0,0609	-23,5930	0,0000
	Conductividad Eléctrica (us/cm)	0,8914	0,3641	3,0444	0,0382
	Saturación OD (%)	0,8089	0,0955	2,7428	0,0518
PARÁMETROS LABORATORIO	Fosfato PO ₄ (mg/L)	0,8130	0,1030	-3,1464	0,0346
	Nitratos NO ₃ (mg/L)	0,7348	0,0214	15,0000	0,0545
	DBO ₅ (mg/L)	0,8915	0,3647	6,6862	0,0026
	Coliformes fecales (Colonies/100ml)	0,8917	0,3659	-5,3932	0,0057
	Sólidos totales (mg/L)	0,9412	0,6741	0,2290	0,8301
ICA	Diferencia	0,9738	0,8989	-0,2899	0,7863

* Si p-valor > 0,05 se usa t-Student. Cuando el p-valor < 0,05 se usa pruebas no paramétricas (Wilcoxon).

Fuente: El Autor

Anexo 1.3.

Descriptivos de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Guayabillas

Guayabillas		Media	SD	CV	Media 2016
PARÁMETROS IN SITU	pH	7,49	0,28	0,04	8,28
	Temperatura (C°)	15,24	1,08	0,07	14,9
	Turbiedad (NTU)	26,34	8,86	0,34	14,3
	Conductividad Eléctrica (us/cm)	159,20	19,18	0,12	152,1
	Saturación OD (%)	87,56	5,96	0,07	81,39
PARÁMETROS LABORATORIO	Fosfato PO ₄ (mg/L)	0,82	0,40	0,48	1,09
	Nitratos NO ₃ (mg/L)	1,24	0,13	0,11	1,00
	DBO ₅ (mg/L)	59,80	16,01	0,27	2,00
	Coliformes fecales (Colonies/100ml)	23184	25794	1,11	23700
	Solidos totales (mg/L)	197,14	80,39	0,41	272,50
ICA	Índice de calidad de agua (Overall)	54,80	1,64	0,03	
	ICA 2016	68,00	2,92	0,04	
	Diferencia	-13,20	3,56	0,27	

Fuente: El Autor.

Anexo 1.4

Comparación de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Guayabillas

Guayabillas		Shapiro-Wilk		Comparación de medias	
		Estadístico	p-valor*	Estadístico	p-valor
PARÁMETROS IN SITU	pH	0,8778	0,2996	-6,2909	0,0033
	Temperatura (C°)	0,8937	0,3762	0,7020	0,5214
	Turbiedad (NTU)	0,8728	0,2779	3,0375	0,0385
	Conductividad Eléctrica (us/cm)	0,8704	0,2682	0,8277	0,4543
	Saturación OD (%)	0,8391	0,1624	2,3155	0,0815
PARÁMETROS LABORATORIO	Fosfato PO ₄ (mg/L)	0,7817	0,0570	-1,5237	0,2023
	Nitratos NO ₃ (mg/L)	0,8519	0,2006	4,0000	0,0161
	DBO ₅ (mg/L)	0,8377	0,1587	8,0746	0,0013
	Coliformes fecales (Colonies/100ml)	0,5644	0,0002	5,0000	0,6250
	Sólidos totales (mg/L)	0,9574	0,7896	-2,0959	0,1041
ICA	Diferencia	0,8633	0,2402	-0,7906	0,4734

* Si p-valor > 0,05 se usa t-Student. Cuando el p-valor < 0,05 se usa pruebas no paramétricas (Wilcoxon).

Fuente: El Autor.

Anexo 1.5.

Descriptivos de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Puente Rojo.

Puente Rojo		Media	SD	CV	Media 2016
PARÁMETROS IN SITU	pH	7,46	0,22	0,03	8,35
	Temperatura (C°)	16,08	1,17	0,07	15,3
	Turbiedad (NTU)	31,13	4,49	0,14	14,5
	Conductividad Eléctrica (us/cm)	222,00	36,21	0,16	162,7
	Saturación OD (%)	96,72	25,16	0,26	68,24
PARÁMETROS LABORATORIO	Fosfato PO ₄ (mg/L)	1,58	0,90	0,57	0,73
	Nitratos NO ₃ (mg/L)	1,56	0,40	0,26	0,24
	DBO ₅ (mg/L)	72,80	10,03	0,14	3,90
	Coliformes fecales (Colonies/100ml)	155260	6413	0,04	90200
	Sólidos totales (mg/L)	199,57	85,96	0,43	290,00
ICA	Índice de calidad de agua (Overall)	47,80	4,60	0,10	
	ICA 2016	61,80	4,60	0,07	
	Diferencia	-14,00	6,44	0,46	

Fuente: El Autor.

Anexo 1.6

Comparación de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Puente Rojo.

Puente Rojo		Shapiro-Wilk		Comparación de medias	
		Estadístico	p-valor	Estadístico	p-valor
PARÁMETROS IN SITU	pH	0,9752	0,9072	-9,0969	0,0008
	Temperatura (C°)	0,9086	0,4593	1,4917	0,2100
	Turbiedad (NTU)	0,9558	0,7782	8,2847	0,0012
	Conductividad Eléctrica (us/cm)	0,8805	0,3116	3,6615	0,0216
	Saturación OD (%)	0,8282	0,1348	2,5307	0,0646
PARÁMETROS LABORATORIO	Fosfato PO ₄ (mg/L)	0,8792	0,3057	2,1223	0,1011
	Nitratos NO ₃ (mg/L)	0,9316	0,6076	7,3108	0,0019
	DBO ₅ (mg/L)	0,8875	0,3446	15,3530	0,0001
	Coliformes fecales (Colonies/100ml)	0,9653	0,8444	22,6850	0,0000
	Sólidos totales (mg/L)	0,9677	0,8602	-2,3523	0,0783
ICA	Diferencia	0,9141	0,4927	-6,6402	0,0027

Fuente: El Autor.

Anexo 1.7.

Descriptivos de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo 17 de julio.

17 de Julio		Media	SD	CV	Media 2016
PARÁMETROS IN SITU	pH	6,96	0,16	0,02	7,59
	Temperatura (C°)	16,40	1,40	0,09	15,5
	Turbiedad (NTU)	24,75	4,95	0,20	9,15
	Conductividad Eléctrica (us/cm)	180,34	25,28	0,14	123,3
	Saturación OD (%)	92,08	15,81	0,17	82,02
PARÁMETROS LABORATORIO	Fosfato PO ₄ (mg/L)	1,02	0,51	0,50	0,96
	Nitratos NO ₃ (mg/L)	1,48	0,41	0,28	1,10
	DBO ₅ (mg/L)	68,60	14,47	0,21	4,20
	Coliformes fecales (Colonies/100ml)	123520	25295	0,20	189600
	Solidos totales (mg/L)	193,82	76,19	0,39	232,50
ICA	Índice de calidad de agua (Overall)	52,80	1,92	0,04	
	ICA 2016	54,40	8,11	0,15	
	Diferencia	-1,60	9,71	6,07	

Fuente: El Autor.

Anexo 1.8

Comparación de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo 17 de Julio.

17 de Julio		Shapiro-Wilk		Comparación de medias	
		Estadístico	p-valor*	Estadístico	p-valor
PARÁMETROS IN SITU	pH	0,9545	0,7689	-8,9792	0,0009
	Temperatura (C°)	0,9010	0,4156	1,4375	0,2240
	Turbiedad (NTU)	0,7721	0,0471	15,0000	0,0625
	Conductividad Eléctrica (us/cm)	0,9290	0,5898	5,0455	0,0073
	Saturación OD (%)	0,9033	0,4282	1,4224	0,2280
PARÁMETROS LABORATORIO	Fosfato PO ₄ (mg/L)	0,9712	0,8826	0,2621	0,8062
	Nitratos NO ₃ (mg/L)	0,9665	0,8524	2,0793	0,1061
	DBO ₅ (mg/L)	0,9303	0,5983	9,9537	0,0006
	Coliformes fecales (Colonies/100ml)	0,8788	0,3037	-5,8414	0,0043
	Sólidos totales (mg/L)	0,9616	0,8191	-1,1352	0,3197
ICA	Diferencia	0,9365	0,6415	-5,3156	0,0060

* Si p-valor > 0,05 se usa t-Student. Cuando el p-valor < 0,05 se usa pruebas no paramétricas (Wilcoxon).

Fuente: El Autor.

Anexo 1.9

Descriptivos de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Tahuando final.

Tahuando final		Media 2021	SD	CV	Media 2016
PARÁMETROS IN SITU	pH	6,98	0,49	0,07	8,3
	Temperatura (C°)	19,64	1,44	0,07	18,5
	Turbiedad (NTU)	32,49	5,56	0,17	45,6
	Conductividad Eléctrica (us/cm)	557,20	72,62	0,13	527
	Saturación OD (%)	91,18	7,86	0,09	78,9
PARÁMETROS LABORATORIO	Fosfato PO ₄ (mg/L)	0,52	0,26	0,50	3,11
	Nitratos NO ₃ (mg/L)	1,22	0,18	0,15	0,80
	DBO ₅ (mg/L)	59,80	9,73	0,16	20,40
	Coliformes fecales (Colonies/100ml)	40072	12609	0,31	1592000
	Solidos totales (mg/L)	232,11	79,91	0,34	402,50
ICA	Índice de calidad de agua (Overall)	53,60	2,07	0,04	
	ICA 2016	55,80	6,14	0,11	
	Diferencia	-2,20	5,54	2,52	

Fuente: El Autor.

Anexo 1.10

Comparación de los indicadores obtenidos in situ y en el laboratorio del año 2016 al año 2021 en el punto de muestreo Tahuando final.

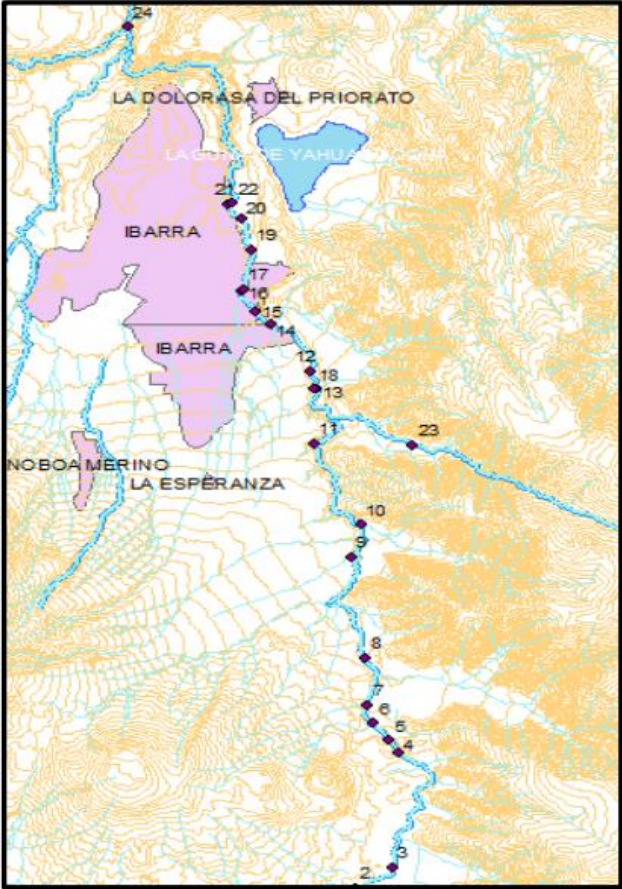
Tahuando Final		Shapiro-Wilk		Comparación de medias	
		Estadístico	p-valor*	Estadístico	p-valor
PARÁMETROS IN SITU	pH	0,8205	0,1177	-6,0441	0,0038
	Temperatura (C°)	0,8977	0,3975	1,7748	0,1506
	Turbiedad (NTU)	0,8977	0,3975	-5,2694	0,0062
	Conductividad Eléctrica (us/cm)	0,8487	0,1904	0,9299	0,4051
	Saturación OD (%)	0,9217	0,5409	3,4927	0,0251
PARÁMETROS LABORATORIO	Fosfato PO ₄ (mg/L)	0,8936	0,3758	-22,3740	0,0000
	Nitratos NO ₃ (mg/L)	0,8628	0,2384	5,2500	0,0063
	DBO ₅ (mg/L)	0,9201	0,5308	9,0533	0,0008
	Coliformes fecales (Colonies/100ml)	0,6117	0,0009	0,0000	0,0625
	Sólidos totales (mg/L)	0,9286	0,5866	-4,7681	0,0089
ICA	Diferencia	0,8621	0,2359	-2,0809	0,1059

* Si p-valor > 0,05 se usa t-Student. Cuando el p-valor < 0,05 se usa pruebas no paramétricas (Wilcoxon).

Fuente: El Autor.

Ho: media1 = media2 (Se rechaza Ho cuando $p < 0,05$ y se opta por H1: media1 ≠ media2)

Anexo 1.11 Locación espacial de las 24 estaciones de preselección para el sistema de muestreo en el río Tahuando realizado por Castro, J. (2016).



ANEXOS II

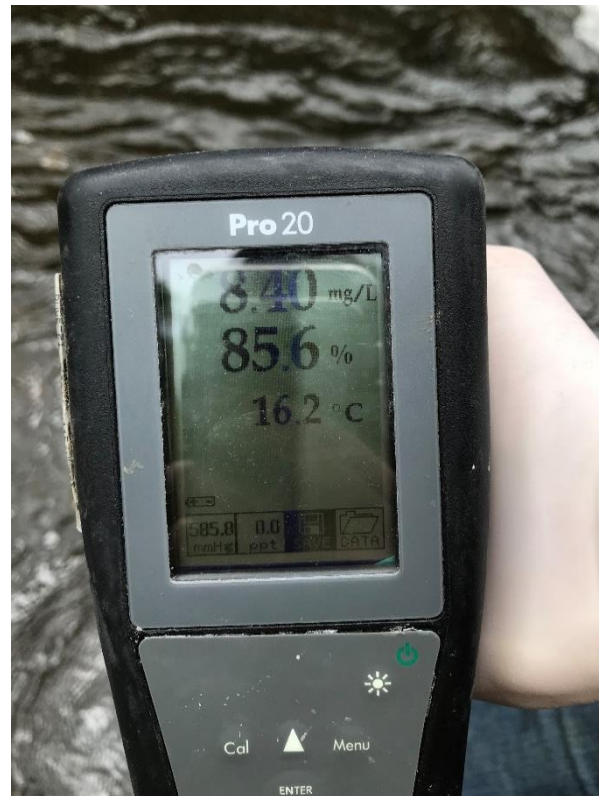
Anexo 2.1. Medición de pH y temperatura in situ con el uso del potenciómetro



Anexo 2.2 Registro de Conductividad eléctrica



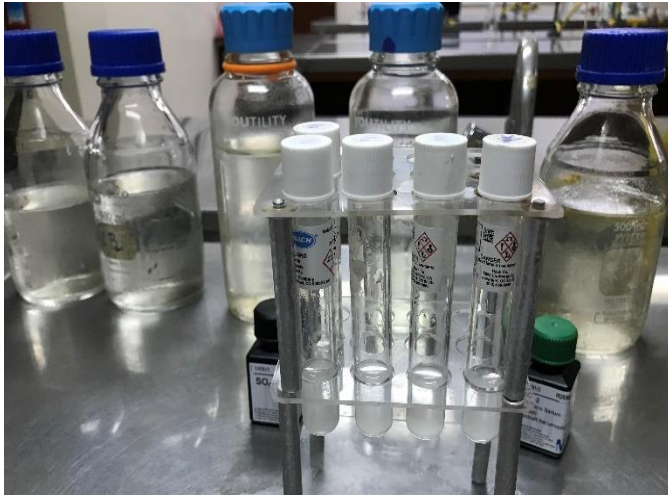
Anexo 2.3. Toma de oxígeno disuelto y temperatura del agua



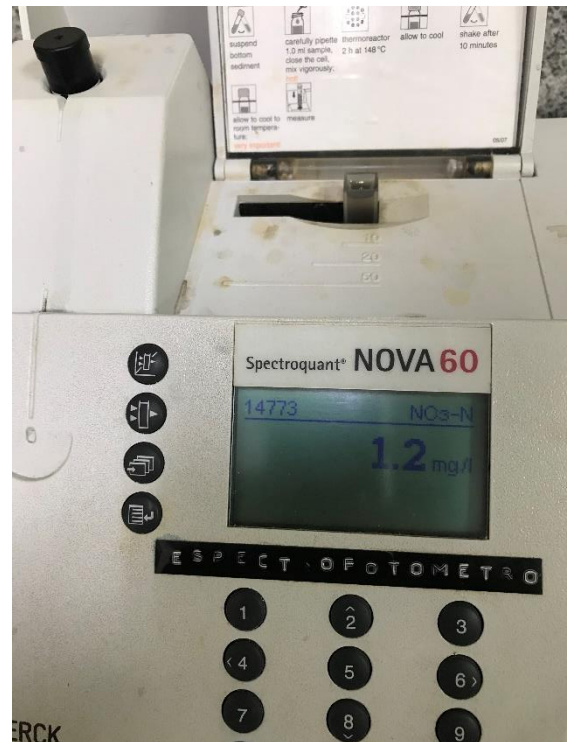
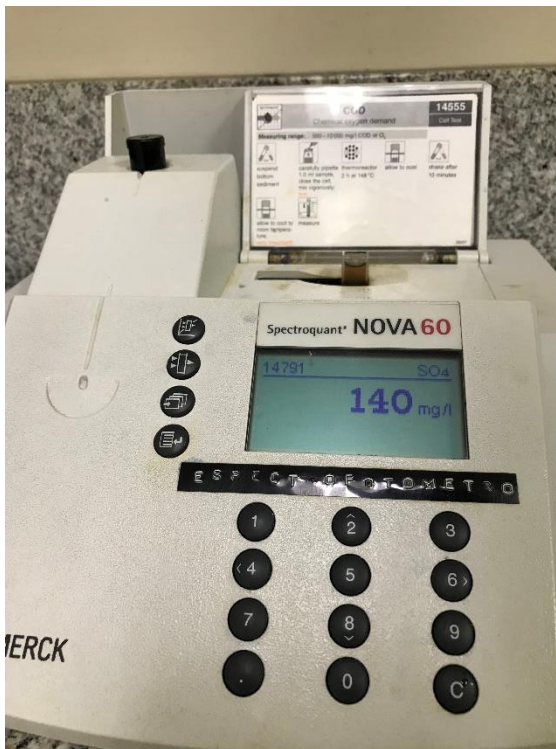
Anexo 2.4. Procesamiento del parámetro turbiedad mediante un turbidímetro portátil



Anexo 2.5. Análisis de Nitratos, sulfatos en laboratorio.



Anexo 2.6. Cálculo de fosfatos PO₄-P y Nitratos NO₃ en espectrofotómetro



Anexo 2.7. Cálculo de la demanda biológica de oxígeno en muestras de agua del río
Tahuando



Anexo 2.8 Registro del peso seco y húmedo de los crisoles para el cálculo de sólidos totales de las muestras de agua



Anexo 2.9. Inoculación de bacteria E. Coli mediante membranas petrifilm 3m



Anexo 2.10 Etapa de desarenado y sus elementos en el sistema del tratamiento de agua de la PTAR-Ibarra.

Características del equipo en la etapa de desarenado					
Abreviatura	Nombre	Cantidad	Marca	Serie	Poder
CM	Compuerta de muro	2	RotorkSpain	IQ10-F10-AEMP	0,30 kW
CM	Compuerta de muro	1	Rotork Spain	IQM25-F14-AEMP	1,60 kW
VG	Válvulas de grasa	1	RotorkSpain	IQ18-F10-AEMP	0,5 kW
PDS	Puentes desarenados	2	Estruagua	PL-009-HE	0,36 kW
BA	Bombeo de Arenas	2	Ideal	ARSV 80-145-POV	0,74 kW
CA	Clasificación de Arenas	1	Estruagua	CAH-015-P	0,18 kW
CGF	Concentrador de Grasas y Aceites	1	Estruagua	CD-015-P	0,18 kW
SC	Soplador de cabinas insonorizante	3	Mapner	SEM-11-8-TRCB-GCA	34 kW
VE	Ventiladora-Extractor	1	Electra	HCFP-6-900-H-X-V6	1,70 kW

Fuente: (Valverde, 2019)

Anexo 2.11. Tabla N° 1 Tabla 8 del acuerdo ministerial 097-A Anexos de Normativa, Reforma al TULSMA. Límites de descarga al sistema de alcantarillado al sistema público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	1,0
Ci nc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Mangane so total	Mn	mg/l	10,0
Me rcu r i o (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kje dahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendedos Total e s	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Anexo 2.12. Tabla 9 del acuerdo ministerial 097-A Anexos de Normativa, Reforma al TULSMA. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Cloruros	Cl	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real ¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁶⁺	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	1000
Sulfuros	S ²⁻	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

¹ La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Anexo 2.13 Análisis de resultados en el punto Romerillo

Romerillo							Media	SD	CV	Media 2016
PARÁMETROS IN SITU	pH	7,70	7,61	7,24	7,14	7,31	7,40	0,24	0,03	8,24
	Temperatura (C°)	13,2	15,5	14,3	14,1	15,5	14,52	0,99	0,07	15,1
	Turbiedad (NTU)	16,95	13,79	26,68	13,66	26,68	19,55	6,64	0,34	89,6
	Conductividad Eléctrica (us/cm)	150,9	168,9	148,7	128,2	168,9	153,12	16,91	0,11	130,1
	Saturación OD (%)	79,1	85,3	103,5	101,3	102,5	94,34	11,32	0,12	80,45
PARÁMETROS LABORATORIO	Fosfato PO ₄ (mg/L)	0,3	0,2	0,8	0,3	0,4	0,40	0,23	0,59	0,73
	Nitratos NO ₃ (mg/L)	1,3	1,3	1,2	1,3	1,0	1,22	0,13	0,11	0,80
	DBO ₅ (mg/L)	42	42	70	64	32	50,00	16,19	0,32	1,60
	Coliformes fecales (Colonies/100ml)	6360	1800	8100	8500	3100	5572	2997	0,54	12800
	Sólidos totales (mg/L)	131,05	100,30	300,26	216,92	217,02	193,11	79,19	0,41	185,00
ICA	Índice de calidad de agua (Overall)	59	62	55	61	59	59,20	2,68	0,05	
	Rango de calidad	C	C	C	C	C				
	ICA 2016	71	66	66	74	67	68,80	3,56	0,05	
	Diferencia	-12	-4	-11	-13	-8	-9,60	3,65	0,38	

Anexo 2.14 Análisis de resultados en el punto Guayabillas

Guayabillas							Media	SD	CV	Media 2016
PARÁMETROS IN SITU	pH	7,50	7,93	7,25	7,24	7,53	7,49	0,28	0,04	8,28
	Temperatura (C°)	13,7	16,2	15,5	14,6	16,2	15,24	1,08	0,07	14,9
	Turbiedad (NTU)	20,27	17,76	37,77	22,12	33,77	26,34	8,86	0,34	14,3
	Conductividad Eléctrica (us/cm)	159,0	173,6	158,6	128,2	176,6	159,20	19,18	0,12	152,1
	Saturación OD (%)	78,0	85,6	90,1	92,0	92,1	87,56	5,96	0,07	81,39
PARÁMETROS LABORATORIO	Fosfato PO4 (mg/L)	0,6	0,5	1,3	1,2	0,5	0,82	0,40	0,48	1,09
	Nitratos NO3 (mg/L)	1,4	1,1	1,3	1,3	1,1	1,24	0,13	0,11	1,00
	DBO5 (mg/L)	47	52	64	86	50	59,80	16,01	0,27	2,00
	Coliformes fecales (Colonies/100ml)	11400	12200	11700	11300	69322	23184	25794	1,11	23700
	Solidos totales (mg/L)	133,68	100,22	300,27	216,93	234,62	197,14	80,39	0,41	272,50
ICA	Indice de calidad de agua (Overall)	56	56	52	55	55	54,80	1,64	0,03	
	Rango de calidad	C	C	C	C	C				
	ICA 2016	67	66	68	73	66	68,00	2,92	0,04	
	Diferencia	-11	-10	-16	-18	-11	-13,20	3,56	0,27	

Anexo 2.15 Análisis de resultados en el punto Puente Rojo

Puente Rojo							Media	SD	CV	Media 2016
PARÁMETROS IN SITU	pH	7,50	7,55	7,31	7,20	7,76	7,46	0,22	0,03	8,35
	Temperatura (C°)	14,5	17,2	16,1	15,4	17,2	16,08	1,17	0,07	15,3
	Turbiedad (NTU)	36,71	24,47	32,38	29,72	32,38	31,13	4,49	0,14	14,5
	Conductividad Eléctrica (us/cm)	219,0	255,0	222,0	164,0	250,0	222,00	36,21	0,16	162,7
	Saturación OD (%)	75,7	80,2	95,1	139,2	93,4	96,72	25,16	0,26	68,24
PARÁMETROS LABORATORIO	Fosfato PO ₄ (mg/L)	1,9	0,8	3,0	1,2	1,0	1,58	0,90	0,57	0,73
	Nitratos NO ₃ (mg/L)	1,5	2,2	1,4	1,1	1,6	1,56	0,40	0,26	0,24
	DBO ₅ (mg/L)	79	87	64	70	64	72,80	10,03	0,14	3,90
	Coliformes fecales (Colonies/100ml)	153300	154600	146000	162600	159800	155260	6413	0,04	90200
	Sólidos totales (mg/L)	134,62	100,18	318,54	210,51	234,01	199,57	85,96	0,43	290,00
ICA	Índice de calidad de agua (Overall)	50	53	42	50	44	47,80	4,60	0,10	
	Rango de calidad	C	C	D	C	D				
	ICA 2016	54	66	63	64	62	61,80	4,60	0,07	
	Diferencia	-4	-13	-21	-14	-18	-14,00	6,44	0,46	

Anexo 2.16 Análisis de resultados en el punto 17 de Julio

17 de Julio							Media	SD	CV	Media 2016
PARÁMETROS IN SITU	pH	7,20	6,90	6,93	6,77	6,99	6,96	0,16	0,02	7,59
	Temperatura (C°)	14,6	17,8	16,2	15,6	17,8	16,40	1,40	0,09	15,5
	Turbiedad (NTU)	19,39	19,34	29,23	27,58	28,23	24,75	4,95	0,20	9,15
	Conductividad Eléctrica (us/cm)	178,1	206,0	169,9	144,7	203,0	180,34	25,28	0,14	123,3
	Saturación OD (%)	76,4	79,6	94,0	116,4	94,0	92,08	15,81	0,17	82,02
PARÁMETROS LABORATORIO	Fosfato PO ₄ (mg/L)	1,6	0,3	1,4	0,8	1,0	1,02	0,51	0,50	0,96
	Nitratos NO ₃ (mg/L)	2,1	1,3	1,6	1,0	1,4	1,48	0,41	0,28	1,10
	DBO ₅ (mg/L)	59	65	81	86	52	68,60	14,47	0,21	4,20
	Coliformes fecales (Colonies/100ml)	165000	116000	107300	101200	128100	123520	25295	0,20	189600
	Solidos totales (mg/L)	167,34	100,17	300,66	166,97	233,97	193,82	76,19	0,39	232,50
ICA	Indice de calidad de agua (Overall)	52	56	51	53	52	52,80	1,92	0,04	
	Rango de calidad	C	C	C	C	C				
	ICA 2016	53	41	57	61	60	54,40	8,11	0,15	
	Diferencia	-1	15	-6	-8	-8	-1,60	9,71	6,07	

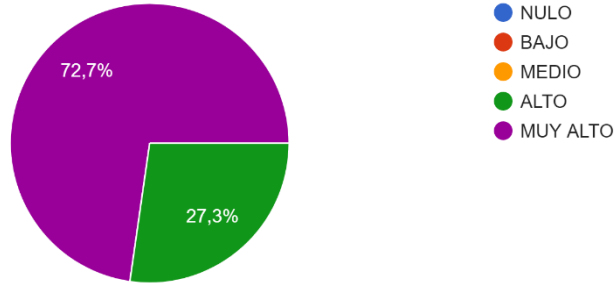
Anexo 2.17 Análisis de resultados en el punto Tahuando final.

Tahuando final		Media	SD	CV	Media 2016					
PARÁMETROS IN SITU	pH	7,66	6,60	6,70	7,33	6,59	6,98	0,49	0,07	8,3
	Temperatura (C°)	18,5	21,2	18,4	18,9	21,2	19,64	1,44	0,07	18,5
	Turbiedad (NTU)	26,12	32,82	38,43	27,65	37,43	32,49	5,56	0,17	45,6
	Conductividad Eléctrica (us/cm)	533,0	611,0	587,0	441,0	614,0	557,20	72,62	0,13	527
	Saturación OD (%)	81,3	85,1	99,4	97,8	92,3	91,18	7,86	0,09	78,9
PARÁMETROS LABORATORIO	Fosfato PO ₄ (mg/L)	0,6	0,1	0,6	0,5	0,8	0,52	0,26	0,50	3,11
	Nitratos NO ₃ (mg/L)	1,2	1,2	1,2	1,5	1,0	1,22	0,18	0,15	0,80
	DBO ₅ (mg/L)	57	59	60	75	48	59,80	9,73	0,16	20,40
	Coliformes fecales (Colonies/100ml)	45800	46800	45600	44600	17560	40072	12609	0,31	1592000
	Solidos totales (mg/L)	167,30	133,44	328,95	266,96	263,91	232,11	79,91	0,34	402,50
ICA	Indice de calidad de agua (Overall)	54	56	52	55	51	53,60	2,07	0,04	
	Rango de calidad	C	C	C	C	C				
	ICA 2016	56	55	61	61	46	55,80	6,14	0,11	
	Diferencia	-2	1	-9	-6	5	-2,20	5,54	2,52	

Anexo 2.18 Preguntas de la encuesta de socialización

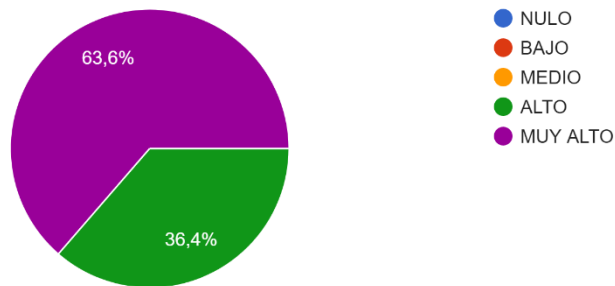
1. ¿Considera Usted que el expositor mostró dominio del tema?

11 respuestas



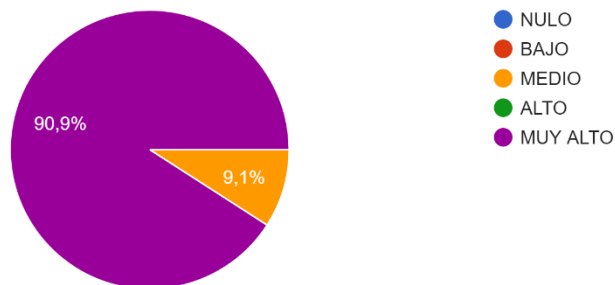
2. ¿Considera Usted que el Expositor demostró facilidad de expresión?

11 respuestas



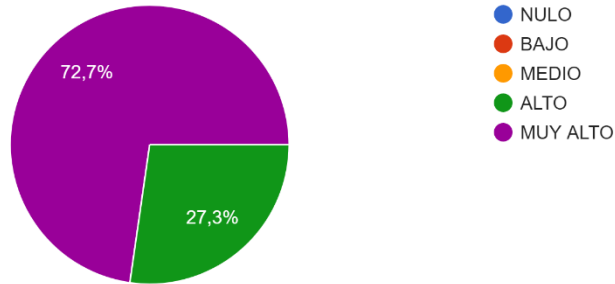
3. ¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores?

11 respuestas



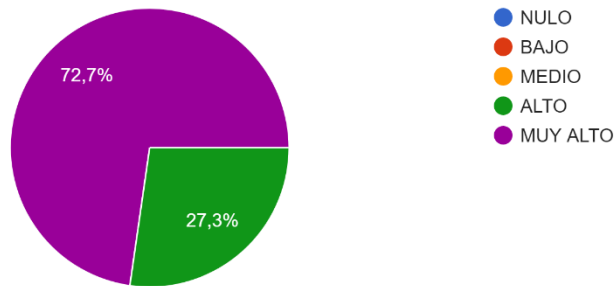
4. ¿Considera Usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución?

11 respuestas



5. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera Usted que éstos se cumplieron?

11 respuestas



Anexo 2.19 Capturas de pantalla de la socialización a docentes y estudiantes de la PUCE-SI realizada por Google Meet.

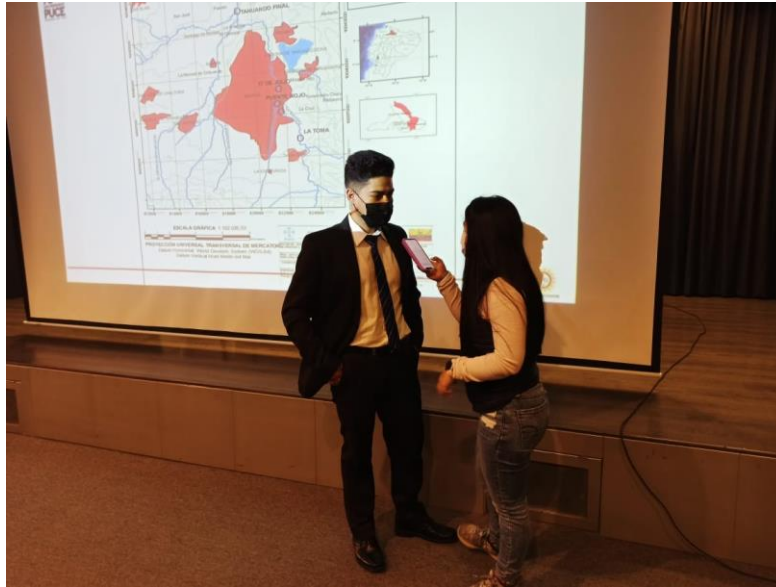


Anexo 2.20 Oficio para socialización en GAD Ibarra.



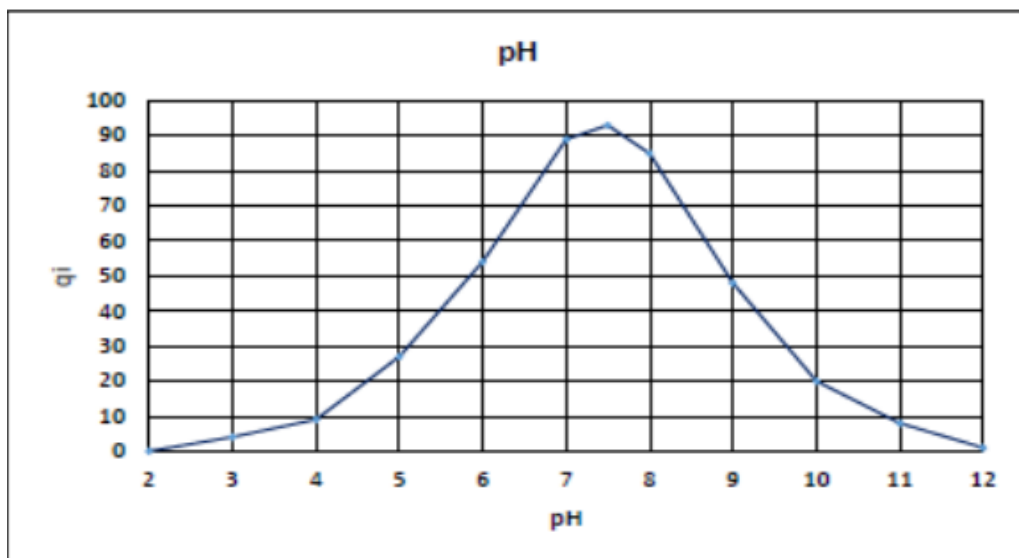
Anexo 2.21 Socialización en la Prefectura de Imbabura.



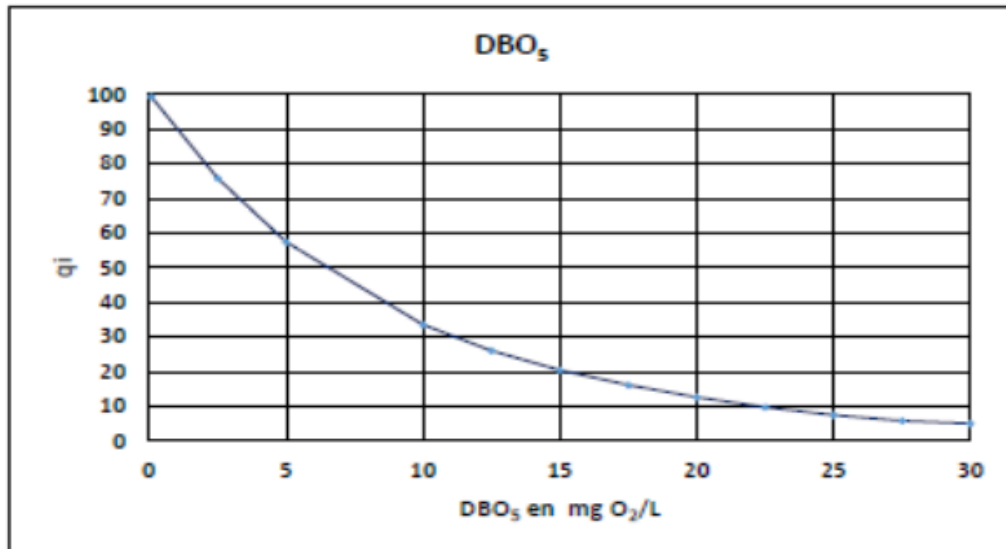


Anexo 2.22 Curvas en función de los parámetros en los que se basa la NSF para el cálculo de la calidad de agua.

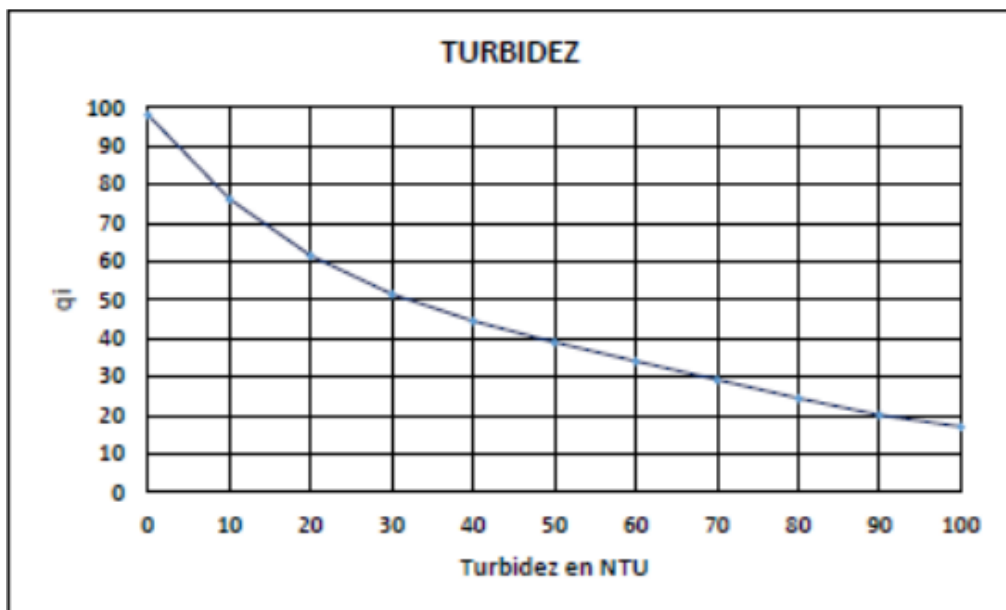
Curva de función del pH (Índice de Calidad de Agua – Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos)



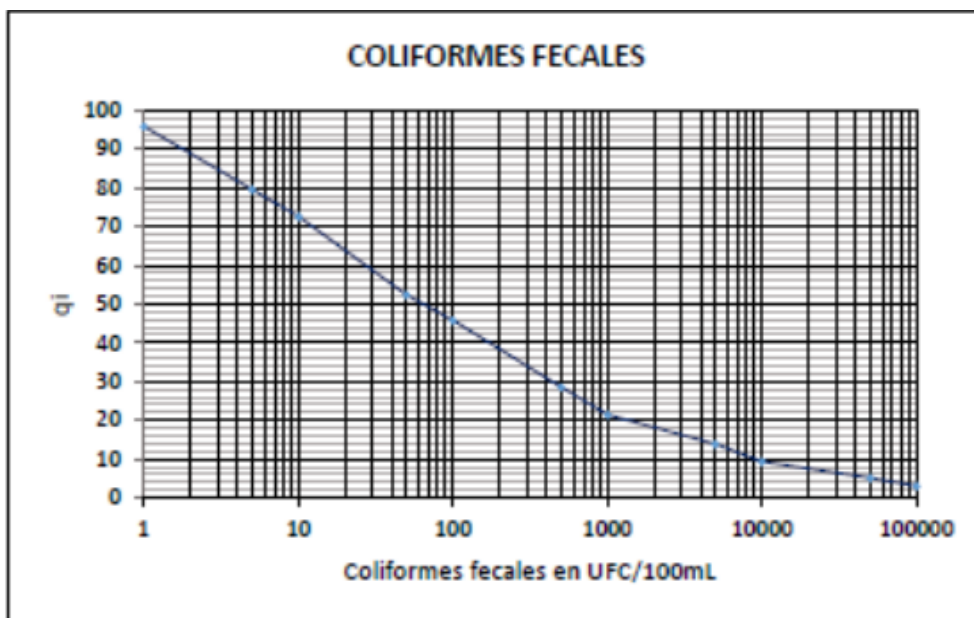
Curva de función del DBO5 (Índice de Calidad de Agua – Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos)



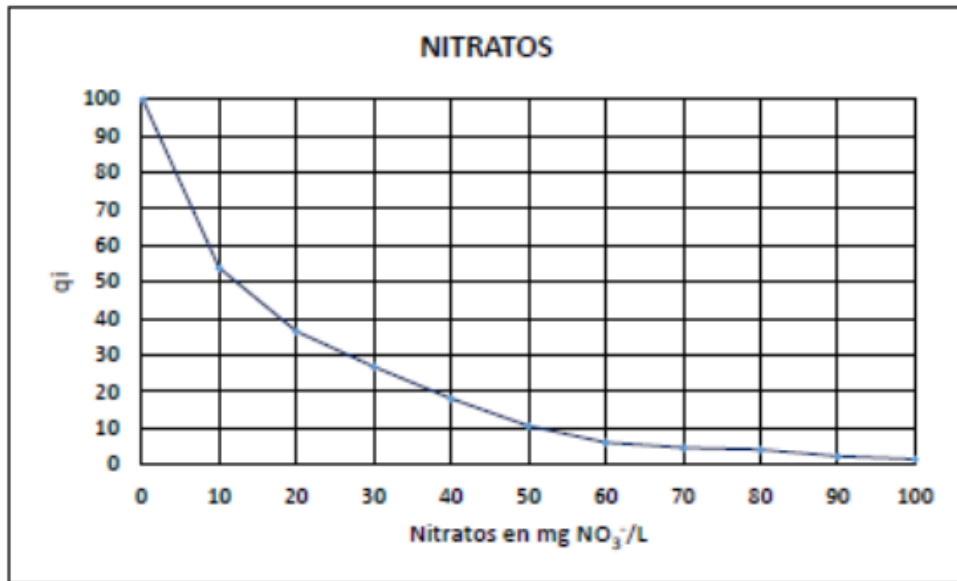
Curva de función de Turbidez (Índice de Calidad de Agua – Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos)



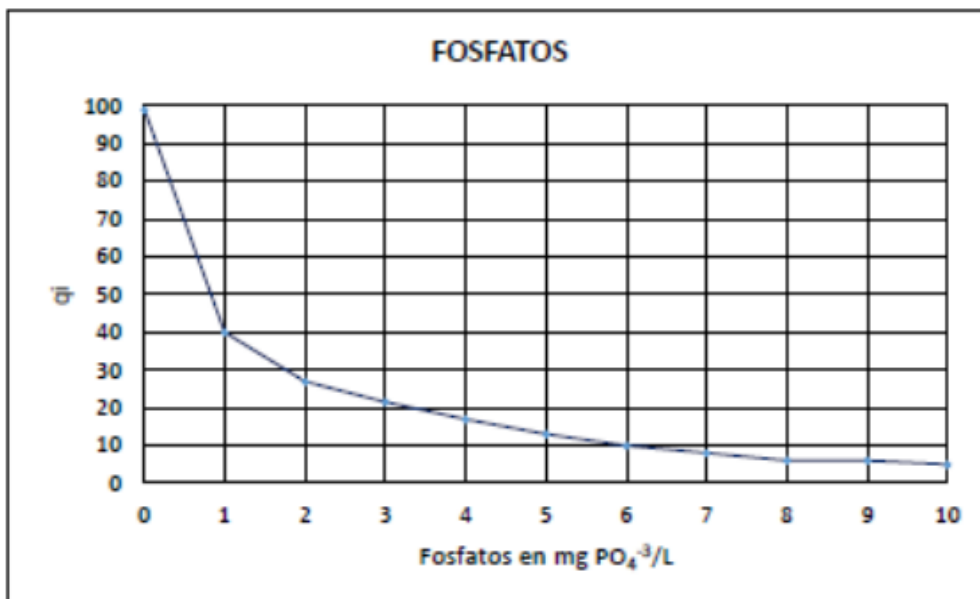
Curva de función de Coliformes Fecales (Índice de Calidad de Agua – Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos)



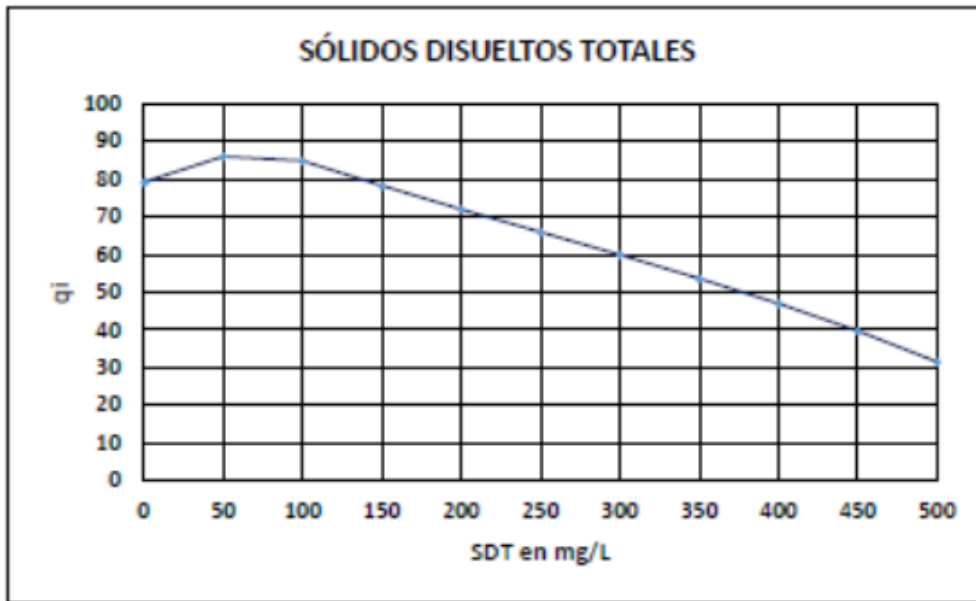
Curva de función de Nitratos (Índice de Calidad de Agua – Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos)



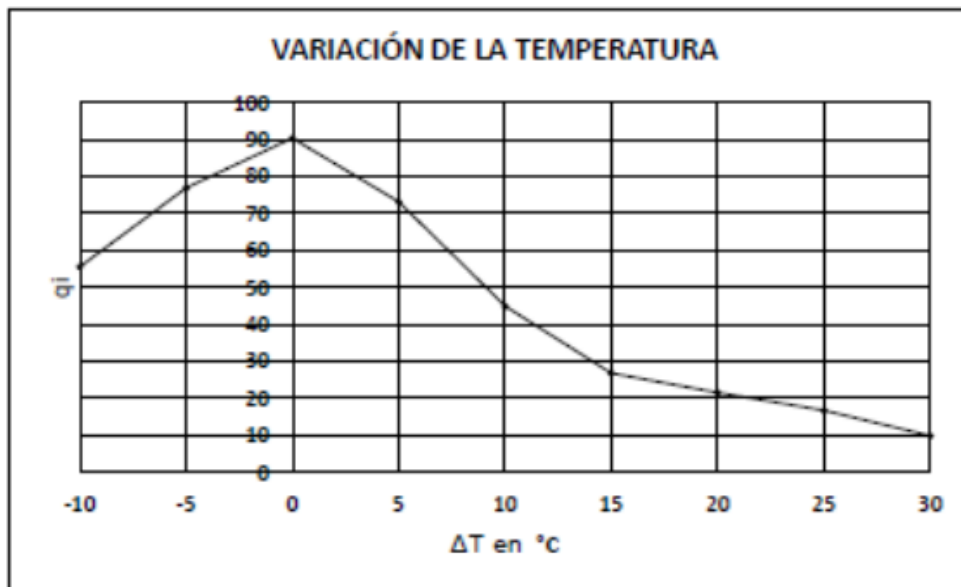
Curva de función de Fosfatos (Índice de Calidad de Agua – Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos)



Curva de función de Sólidos Disueltos Totales (Índice de Calidad de Agua – Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos)



Curva de función de Variación de Temperatura (Índice de Calidad de Agua – Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos)



Curva de función del Oxígeno Disuelto (Índice de Calidad de Agua – Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos)

