UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

TESIS:

Grado de Contaminación de las Aguas del Río Huatatas según los Índices de Contaminación (ICO's), Huamanga 2024

Para optar el grado académico de:
MAESTRA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTADO POR:
Bach. Karina Elizabeth LLOCCLLA QUISPE

ASESORAS:
M.C. Gloria Inés BARBOZA PALOMINO
Dra. Betsy Suri RAMOS PACHECO

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

A Dios, por ser el creador y fuente de toda manifestación de vida, y por iluminar mi camino en cada momento.

A mis amados padres, Víctor y Aurelia, y a mis hermanos, por su amor incondicional, su presencia constante en cada paso de mi vida y por brindarme siempre aliento y apoyo para seguir adelante.

A Víctor, por su apoyo incondicional; y a mis adorables hijas, Maya y Elizabeth, quienes son mi motor, mi mayor inspiración, mi amor y mi alegría constante; la razón que me impulsa a seguir luchando y alcanzar cada uno de mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Con profundo respeto y cariño:

A mi alma máter, la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, a la Escuela de Posgrado y al programa de Maestría en Ingeniería Ambiental, por brindarme la oportunidad de culminar mis estudios en sus aulas del saber, y por contribuir a mi formación profesional y personal.

A mis asesoras, MCs. Ing. Gloria Inés Barboza Palomino y Dra. Betsy Suri Ramos Pacheco, a quienes agradezco profundamente por su constante apoyo, tolerancia y paciencia, pero, sobre todo, por su disposición para compartir sus conocimientos y responder con dedicación a cada una de mis interrogantes durante el desarrollo de esta tesis.

A la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, así como a sus docentes y personal administrativo que laboran en los laboratorios de Química Analítica y Química General, por las facilidades brindadas y por permitir el uso de materiales y reactivos necesarios para la realización de los ensayos físico-químicos que hicieron posible el desarrollo de este trabajo.

A Juan José Jiménez Salazar y al Lic. Marco Antonio Quispe Atauje, por su valiosa colaboración en la realización de los muestreos de agua y en el análisis de las muestras, contribuyendo de manera significativa al desarrollo del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTOS iii

ÍNDICE GENERAL iv

ÍNDICE DE TABLAS x

ÍNDICE DE FIGURAS xii

ÍNDICE DE ANEXOS xv

ABREVIATURAS xvi

RESUMEN xvii

ABSTRACT xviii

INTRODUCCIÓN 1

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 4

1.1. Descripción de la situación problemática 4

1.2. Formulación del problema 6

1.2.1. Problema general 6

1.2.2. Problemas específicos 6

1.3. Formulación de objetivos 7

1.3.1. Objetivo general 7

1.3.2. Objetivos específicos 7

1.4. Hipótesis 8

1.4.1. Hipótesis general 8

1.4.2. Hipótesis específicas 8

1.5. Justificación de la investigación 9

1.6. Importancia de la investigación 10
1.7. Delimitación del problema 11
1.7.1. Delimitación espacial 11
1.7.2. Delimitación temporal 12
II. MARCO TEÓRICO 14
2.1. Antecedentes de la investigación 14
2.1.1. Internacional 14
2.1.2. Nacional 18
2.1.3. Local 22
2.2. Bases teóricas 23
2.2.1. Definición de agua 23
2.2.2. Aguas continentales 24
2.2.2.1. Características de las aguas continentales 25
2.2.2.2. Tipos de aguas continentales 26
2.2.3. El río Huatatas 27
2.2.4. Calidad del agua 32
2.2.5. Monitoreo de la calidad de aguas superficiales 33
2.2.7. Contaminación de aguas superficiales 35
2.2.7.1. Tipos de contaminación de aguas superficiales 36
2.2.8. Parámetros microbiológicos, químicos y físicos 37
2.2.8.1. Coliformes totales 37
2.2.8.2. Coliformes termotolerantes 38
2.2.8.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) 39
2.2.8.4. Oxígeno disuelto 39

2.2.8.5. Porcentaje de saturación de oxígeno....40
2.2.8.6. Alcalinidad total....40
2.2.8.7. Dureza total....40
2.2.8.8. Potencial de hidrógeno (pH)....41
2.2.8.9. Fósforo total....42
2.2.8.10. Conductividad....42
2.2.8.11. Sólidos suspendidos totales....43
2.2.9. Índices de contaminación (ICO's)....43
2.2.9.1. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)....46
2.2.9.2. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)....47
2.2.9.3. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)....48
2.2.9.4. Índice de contaminación trópica (ICOTRO)....49
2.2.9.5. Índice de contaminación por pH (ICOpH)....50
2.3. Bases conceptuales....50
2.4. Marco legal....53
III. METODOLOGÍA....57
3.1. Tipo y nivel de investigación....58
3.2. Métodos....58
3.3. Diseño de investigación....59
3.4. Operacionalización de variables....59
3.5. Población de estudio....60
3.6. Muestra....61
3.7. Tipo de muestreo....65
3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos....65

3.8.1. Planificación del monitoreo 65

3.8.2. Toma de muestras 67

3.9. Métodos y técnicas de procedimiento de datos 69

3.9.1. Determinación de coliformes totales 69

3.9.2. Determinación de coliformes termotolerantes 69

3.9.3. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno 70

3.9.4. Determinación del oxígeno disuelto 70

3.9.5. Determinación del porcentaje de saturación de oxígeno 70

3.9.6. Procedimiento para la determinación de alcalinidad 71

3.9.7. Determinación de la dureza total 73

3.9.8. Determinación del pH 75

3.9.9. Determinación de fósforo total 75

3.9.10. Determinación de la conductividad 76

3.9.11. Determinación de sólidos suspendidos totales 76

3.10. Procesamiento y análisis estadístico 78

3.10.1. Procesamiento de datos 78

3.10.2. Análisis estadístico 79

3.10.2.1. Prueba de diferencia significativa 79

3.10.2.2. Prueba de rangos múltiples 81

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 82

4.1. Resultados 83

4.1.1. Estaciones de muestreo 83

4.1.2. Fechas de muestreo 84

4.1.3. Parámetros microbiológicos 84

4.1.3.1. Coliformes totales 84

4.1.3.2. Coliformes termotolerantes 86

4.1.4. Parámetros químicos 87

4.1.4.1. Demanda bioquímica de oxígeno 87

4.1.4.2. Oxígeno disuelto 89

4.1.4.3. Porcentaje de saturación de oxígeno 90

4.1.4.4. Alcalinidad 92

4.1.4.5. Dureza total 93

4.1.4.6. Potencial de hidrógeno 95

4.1.4.7. Fósforo total 96

4.1.5. Parámetros físicos 98

4.1.5.1. Conductividad 98

4.1.5.2. Sólidos suspendidos totales 100

4.1.6. Índices de contaminación (ICO's) 101

4.1.6.1. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) 101

4.1.6.2. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI) 103

4.1.6.3. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) 105

4.1.6.4. Índice de contaminación trófica (ICOTRO) 106

4.1.7. Correlación de parámetros e índices de contaminación (ICO's) 111

4.2. Discusión 113

4.2.1. Parámetros microbiológicos, químicos y físicos 113

4.2.1.1. Parámetros microbiológicos 113

4.2.1.2. Parámetros químicos 115

4.2.1.3. Parámetros físicos 121

4.2.2. Índices de contaminación (ICO's) 124

4.2.2.1. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) 124

4.2.2.2. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI) 125

4.2.2.3. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) 126

4.2.2.4. Índice de contaminación trófica (ICOTRO) 127

4.2.2.5. Índice de contaminación por pH (ICOpH) 127

4.2.3. Correlación de parámetros e índices de contaminación (ICO's) 129

4. CONCLUSIONES 131

RECOMENDACIONES 133

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 134

ANEXOS 142

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Parámetros mínimos de monitoreo de recursos hídricos superficiales 34

Tabla 2 Tipos de contaminantes según su origen 37

Tabla 3 Clasificación del agua según su dureza 41

Tabla 4 Índices de contaminación ICO's 44

Tabla 5 Rangos ndice de contaminación 45

Tabla 6 Categoría de contaminación trófica 50

Tabla 7 ECA para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.....56

Tabla 8 Operacionalización de variables.....60

Tabla 9 Ubicación (Coordenadas UTM) de las estaciones de muestreo del río Huatatas 61

Tabla 10 Técnicas y métodos de recolección de datos de los parámetros microbiológicos, químicos y físicos 77

Tabla 11 Modelo de matriz de diseño DBCA.....78

Tabla 12 Características de las estaciones de muestreo en el río Huatatas 83

Tabla 13 Fechas de muestreo del río Huatatas en temporada de estiaje (2024).....84

Tabla 14 Coliformes totales (NMP/100 mL) en las estaciones y fechas de muestreo.....85

Tabla 15 Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM.....86

Tabla 16 Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM.....88

Tabla 17 Oxígeno disuelto (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM 89

Tabla 18 % de saturación de oxígeno en las estaciones y fechas de muestreo 91

Tabla 19 Alcalinidad (mg/L) en las estaciones de muestreo y fechas de muestreo 92

Tabla 20 Dureza total (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo.....94

Tabla 21 Potencial hidrógeno (pH) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM 95

Tabla 22 Fósforo total (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM.....97

Tabla 23 Conductividad (µS/cm) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM 98

Tabla 24 Sólidos suspendidos totales (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM.....100

Tabla 25 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) en las estaciones y fechas de muestreo.....102

Tabla 26 Índice de contaminación por mineralización (ICOMI) en las estaciones y fechas de muestreo.....104

Tabla 27 Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) en las estaciones y fechas de muestreo.....105

Tabla 28 Índice de contaminación trófica (ICOTRO) en las estaciones y fechas de muestreo.....107

Tabla 29 Índice de contaminación por pH (ICOpH) en las estaciones y fechas de muestreo.....108

Tabla 30 Variación espacial de los ICO's del río Huatatas durante la temporada de estudio.....109

Tabla 31 Caracterización y contaminación de las estaciones de muestreo del río Huatatas según los ICO's. 111

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 Ubicación de estaciones de muestreo en el río Huatatas 13

Figura 2 Esquema de la estructura molecular del agua 24

Figura 3 Esquema de las aguas continentales 25

Figura 4 Delimitación del río Huatatas sus aportantes y efluentes 29

Figura 5 Puntos críticos de contaminación de las aguas del río Huatatas 30

Figura 6 Fuentes de contaminación de las aguas del río Huatatas 31

Figura 7 Delimitación del área de investigación río Huatatas 63

Figura 8 Estaciones de muestreo de las aguas del río Huatatas 64

Figura 9 Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales 67

Figura 10 Esquema de organización del muestreo de las aguas del río Huatatas durante el periodo de estudio 68

Figura 11 Coliformes totales (NMP/100 mL) en las estaciones y fechas de muestreo 85

Figura 12 Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM 87

Figura 13 Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM 88

Figura 14 Oxígeno disuelto (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM 90

Figura 15 % de saturación de oxígeno en las estaciones y fechas de muestreo 91

Figura 16 Alcalinidad (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo 93

Figura 17 Dureza total (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo 94

Figura 18 Potencial hidrógeno (pH) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM 96

Figura 19 Fósforo total (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM 97

Figura 20 Conductividad (µS/cm) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM 99

Figura 21 Sólidos suspendidos totales (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM.....101

Figura 22 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) en las estaciones y fechas de muestreo.....103

Figura 23 Índice de contaminación por mineralización (ICOMI) en las estaciones y fechas de muestreo.....104

Figura 24 Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) en las estaciones y fechas de muestreo.....106

Figura 25 Índice de contaminación por pH (ICOpH) en las estaciones y fechas de muestreo 108

Figura 26 Comportamiento espacial de los ICO's del río Huatatas 110

Figura 27 Matriz de correlación de Pearson entre parámetros microbiológicos, químicos y físicos del río Huatatas.....112

Figura 28 Matriz de correlación de Pearson entre los índices de contaminación (ICO's) del río Huatatas 113

Figura 29 Reconocimiento y toma de datos en campo en la temporada de estiaje (octubre, noviembre y diciembre del 2024) 159

Figura 30 Calibración en campo del equipo multiparámetro HQ40d Hach. 159

Figura 31 Recojo de muestras en la estación RHuat-01 en la temporada de estiaje (octubre, noviembre y diciembre del 2024) 160

Figura 32 Recojo de muestras en la estación RHuat-02 en la temporada de estiaje (octubre, noviembre y diciembre del 2024) 160

Figura 33 Recojo de muestras en la estación RHuat-03 en la temporada de estiaje (octubre, noviembre y diciembre del 2024) 161

Figura 34 Recojo de muestras en la estación RHuat-04 en la temporada de estiaje (octubre, noviembre y diciembre del 2024) 161

Figura 35 Lecturas de parámetros in situ en el multiparámetro HQ40d HACH 162

Figura 36 Contaminación por la inadecuada disposición de residuos sólidos y el lavado de ropa 162

Figura 37 Disposición de muestras recogidas de campo para determinación en laboratorio.....163

Figura 38 Equipos y materiales utilizados en laboratorio de la UNSCH 163

Figura 39 Insumos y reactivos utilizados en laboratorio de la UNSCH.....164

Figura 40 Determinación de la dureza total (mg/L), por el método de titulación 164

Figura 41 Determinación de alcalinidad (mg/L) por el método de titulación 165

Figura 42 Determinación de sólidos suspendidos totales (mg/L) 166

ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1 Matriz de consistencia 143

Anexo 2 Validación del instrumento.....144

Anexo 3 Panel fotográfico.....159

Anexo 4 Datos obtenidos en campo (In situ) y en laboratorio (Ex situ). 167

Anexo 5 Cálculo del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).....173

Anexo 6 Cálculo del índice de contaminación por mineralización (ICOMI) 179

Anexo 7 Cálculo del índice de contaminación por solidos suspendidos (ICOSUS)...185

Anexo 8 Cálculo del índice de contaminación trófica (ICOTRO).....188

Anexo 9 Cálculo del índice de contaminación por pH (ICOpH).....192

Anexo 10 ANOVA y análisis LSD para coliformes totales.....195

Anexo 11 ANOVA y análisis LSD para coliformes termotolerantes.....196

Anexo 12 ANOVA y análisis LSD para demanda bioquímica de oxígeno 197

Anexo 13 ANOVA y análisis LSD para oxígeno disuelto.....197

Anexo 14 ANOVA y análisis LSD para % de saturación de oxigeno.....198

Anexo 15 ANOVA y análisis LSD para alcalinidad.....199

Anexo 16 ANOVA y análisis LSD para dureza total.....200

Anexo 17 ANOVA y análisis LSD para potencial de hidrógeno.....201

Anexo 18 ANOVA y análisis LSD para fósforo total.....202

Anexo 19 ANOVA y análisis LSD para conductividad.....203

Anexo 20 ANOVA y análisis LSD para sólidos suspendidos totales 204

Anexo 21 ANOVA y análisis LSD para ICOMO 205

Anexo 22 ANOVA y análisis LSD para ICOMI 206

Anexo 23 ANOVA y análisis LSD para ICOSUS.....207

Anexo 24 ANOVA y análisis LSD para ICOTRO.....208

Anexo 25 ANOVA y análisis LSD para ICOpH.....209

Anexo 26 Articulo científico 209

ABREVIATURAS

ICOMO	Índice de contaminación por materia orgánica
ICOMI	Índice de contaminación por mineralización
ICOSUS	Índice de contaminación por sólidos suspendidos
ICOTRO	Índice de contaminación trófica
ICOpH	Índice de contaminación por pH
ECA	Estándar de Calidad Ambiental
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
DBO_5	Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días
°C	Grados Celsius
SST	Sólidos suspendidos totales
LSD	Least significant Difference (Diferencia Mínima Significativa)
mg	miligramo
L	litro
mL	mililitro
µS/cm	microsiemens por centímetro
cm	centímetro
NMP	Número más probable
<	Menor que
>	Mayor que
mg/L	miligramo por litro
%	Porcentaje
pH	Potencial de Hidrógeno
ppm	Partes por millón
N	Normalidad
M	Molaridad

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar el grado de contaminación de las aguas del río Huatatas según los Índices de Contaminación (ICO's). El estudio fue de tipo básico, de nivel descriptivo y enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, y contempló una evaluación espacial y temporal. Se realizaron 16 muestreos en cuatro puntos de muestreo (RHuat-01, RHuat-02, RHuat-03 y RHuat-04) durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2024, correspondientes a la temporada de estiaje. La evaluación incluyó parámetros de calidad del agua como: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), coliformes totales, coliformes termotolerantes, % de saturación de oxígeno, conductividad eléctrica, dureza, alcalinidad, sólidos suspendidos totales, fósforo total y pH, para calcular los índices ICOMO, ICOMI, ICOSUS, ICOTRO e ICOpH. Para el análisis estadístico se utilizó estadística descriptiva utilizando el software Statgraphics Centurion XVI. II, y un Diseño de Bloques Completamente al Azar, además el programa Microsoft Excel para el análisis espacio-temporal de los resultados. Los datos obtenidos fueron contrastados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 4, establecidos a través del D.S. Nº 004-2017-MINAM. Los resultados mostraron que las estaciones RHuat-01, RHuat-02 y RHuat-03 presentaron grados de contaminación comprendidos entre "ninguna" y "baja" según los índices evaluados; por otro lado, RHuat-04 evidenció la mayor afectación, resaltando el índice ICOMI con un valor de 0,613, correspondiente a un grado de contaminación "alta", relacionado con procesos de mineralización. Además, todas las estaciones fueron clasificadas como sistemas "eutróficos". En conjunto, se evidenció una tendencia de incremento de los niveles de contaminación en dirección aguas abajo, lo que estaría relacionado principalmente con la influencia de las actividades humanas desarrolladas a lo largo del río.

Palabras claves: Río Huatatas, grado de contaminación, parámetro, muestreo.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the pollution level of the Huatatas River waters based on Pollution Indices (ICO's). The study was basic research, descriptive in nature, and quantitative in approach, utilizing a non-experimental design that included a spatial and temporal assessment. Sixteen sampling events were conducted at four points (RHuat-01, RHuat-02, RHuat-03, and RHuat-04) during October, November, and December 2024, corresponding to the dry season. The assessment included water quality parameters such as biochemical oxygen demand (BOD_5), total coliforms, thermotolerant coliforms, oxygen saturation percentage, electrical conductivity, hardness, alkalinity, total suspended solids, total phosphorus, and pH, in order to calculate the ICOMO, ICOMI, ICOSUS, ICOTRO, and ICOpH indices. Statistical analysis involved descriptive statistics using Statgraphics Centurion XVI.II software and a Randomized Complete Block Design, alongside Microsoft Excel for the spatio-temporal analysis of the results. The data obtained were compared against the Environmental Quality Standards (ECA) for Water, Category 4, established by Supreme Decree No. 004-2017-MINAM. The results showed that stations RHuat-01, RHuat-02, and RHuat-03 exhibited pollution levels ranging from "none" to "low" according to the evaluated indices; conversely, RHuat-04 showed the greatest impact, notably with an ICOMI value of 0,613 indicating a "high" pollution level associated with mineralization processes. Furthermore, all stations were classified as "eutrophic" systems. Overall, a trend of increasing pollution levels in the downstream direction was evident, which appears to be primarily linked to the influence of human activities along the river.

Keywords: Huatatas River, degree of pollution, parameter, sampling.

INTRODUCCIÓN

Para que todas las formas de vida se desarrollen y persistan, el agua es un componente esencial, para el ser humano es de vital importancia para su desarrollo en todos los aspectos que van desde su parte orgánica, social, ambiental y económica.

Se estima que el planeta tierra alberga aproximadamente 1 386 millones de kilómetros cúbicos (km^3) de agua, cantidad que se ha mantenido relativamente constante a lo largo del tiempo. La mayor parte de esta agua, cerca del 97,5 %, se encuentra en los océanos, mientras que el 2,5 % restante está en estado sólido, principalmente en forma de hielo o nieve. La superficie de los continentes contiene el 80 % del agua, y el 20 % restante está almacenado en capas subterráneas o presente como vapor de agua en la atmósfera. El agua dulce del suelo representa solo el 2,5 % del total. Los ríos y lagos contienen el 0,01 % de ese total, mientras que los depósitos subterráneos contienen el 0,5 %. (AQUAE, 2021)

La principal causa de contaminación en ríos, arroyos y lagos a nivel mundial es el exceso de nutrientes, como los nitratos y fosfatos originados por residuos agrícolas y escorrentía de fertilizantes. Aunque esenciales para la vida, en grandes cantidades contaminan el agua dulce. También aportan toxinas los desechos municipales e industriales, además de la basura arrojada directamente por personas e industrias. (EPA, 2025)

En nuestro país, la contaminación del agua ha sido un problema desde hace mucho tiempo; como consecuencia del aumento de la población, los ríos, lagos y mares se están utilizando ahora como vertederos para una gran variedad de residuos, residuos, como por ejemplo la basura que constituyen los aceites usados. Por esto, podemos señalar que el grado de la contaminación en la naturaleza crece en la medida en que crece el desarrollo de las ciudades.

La contaminación del agua se produce cuando sustancias nocivas, como productos químicos o microorganismos, alteran la composición natural de un arroyo, río, lago, océano, acuífero u otra masa de agua. Este proceso deteriora la calidad del agua,

volviéndola tóxica o peligrosa para los seres humanos, los animales y el medio ambiente (Denchak, 2023)

La crisis del agua en Perú no solo representa un problema medioambiental, sino también un desafío social y económico que demanda respuestas inmediatas y coordinadas, que incluyen una administración más eficaz, inversiones en infraestructura, políticas globales y un incremento en la conciencia acerca de la relevancia del aprovechamiento sostenible del agua (Arteaga, 2023)

El río Huatatas no es ajena a esta triste realidad, la contaminación de sus aguas es un problema que atañe a toda la población Huamanguina, los impactos negativos de las actividades antropogénicas las cuales utilizan sus recursos de manera inadecuada, sin preocuparse por la sostenibilidad de esta en el tiempo, para así dotar un río con riqueza acuática en flora y fauna, con una belleza paisajística, y agua apta para el uso agrícola y ganadera; y porque no apto para el consumo humano.

Dado el problema de la escasez de aguas continentales superficiales, se propuso utilizar la metodología de los Índices de Contaminación (ICO's) como una alternativa viable para realizar evaluaciones cuantitativas. Esta metodología destaca por su facilidad de comprensión e interpretación, ya que integra criterios clave para valorar el estado del recurso hídrico y su nivel de contaminación. A través de fórmulas simples, permite incorporar y relacionar variables físicas, químicas y microbiológicas, proporcionando así una visión integral del estado del recurso hídrico.

Esta investigación titulada "Grado de Contaminación de las Aguas del Río Huatatas según los Índices de Contaminación (ICO's), Huamanga 2024", se basa en la utilización de la metodología de los índices de contaminación planteada y estudiada por diversos autores como (Restrepo, Ramírez, & Cardeñosa, 1999).

El informe final de este trabajo está estructurado en cinco (5) capítulos. Capítulo I. Planteamiento del problema: En este capítulo se desarrolla la identificación, descripción y formulación del problema. Asimismo, se plantean los objetivos de la investigación, la hipótesis y la justificación del estudio. Capítulo II. Marco teórico: En este capítulo se exponen los antecedentes relevantes a la investigación, así como los

fundamentos teóricos que la respaldan, el marco legal aplicable, así como la definición de los términos clave empleados en el estudio. Capítulo III. Metodología: Este capítulo detalla los procedimientos y técnicas empleadas para alcanzar los objetivos planteados en la investigación. Se describen el diseño metodológico, el tipo de estudio, las variables, la población, la muestra, así como los métodos de recolección y análisis de datos. Capítulo IV. Resultados y discusiones: Se exponen los resultados obtenidos a partir del análisis de los diez (10) parámetros evaluados, incluidos los coliformes termotolerantes. Estos resultados se presentan mediante tablas, cuadros y figuras. Además, se presentan los valores correspondientes a los cinco (5) Índices de Contaminación (ICO's) que fueron calculados para las cuatro (4) estaciones de muestreo en cada una de las cuatro (4) fechas de muestreo. Finalmente, se discuten los resultados en relación con los objetivos y con los hallazgos de investigaciones previas. Capítulo V. Conclusiones: Se presentan las conclusiones del estudio en función de los objetivos planteados. Al final del informe, se incluyen las recomendaciones derivadas de la investigación, las referencias bibliográficas utilizadas y los anexos correspondientes.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la situación problemática

La calidad del agua y los ecosistemas que dependen de ella son temas universales que afectan a todos los países del planeta. Desde la década de 1990, se han acelerado los procesos de urbanización (abandono de las zonas rurales y concentración en las grandes ciudades) asimismo la industrialización (explotación sistemática de los recursos naturales, incluida la minería y la agricultura actividades productivas muy importantes en el Perú). Durante la Segunda Guerra Mundial, las aguas residuales domésticas e industriales sin tratar, así como la contaminación generalizada procedente de fuentes industriales o terrestres, provocaron graves problemas medioambientales (Guevara, Obando, & Segura, 2019).

Del mismo modo, es importante señalar que las principales fuentes de contaminación de los ríos en el Perú incluyen el vertido de aguas residuales mal tratadas, así como los drenajes urbanos e industriales que desembocan directamente en estos cuerpos de agua. A esto se suma el uso inadecuado y la mala disposición de plaguicidas, fertilizantes y residuos tanto orgánicos como inorgánicos, esto sumada a una gestión inadecuada de los residuos sólidos. Estas condiciones afectan negativamente la calidad del recurso hídrico debido a la presencia de contaminantes físicos, químicos, biológicos y microbiológicos, que, en altas concentraciones, pueden causar daños a la salud de las personas y a los ecosistemas circundantes.

La contaminación de los cursos de agua fluviales representa una gran preocupación ambiental, los ríos son los principales recursos hídricos que sustentan la vida en todos sus aspectos. Es indispensable prevenir y controlar esta contaminación para poder tener la sostenibilidad de este valioso recurso.

El recurso hídrico constituye un elemento fundamental para la vida, el desarrollo humano y el equilibrio de los ecosistemas. Sin embargo, en las últimas décadas, la calidad del agua se ha visto seriamente afectada por diversas actividades antropogénicas, tales como el vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales, la disposición inadecuada de residuos sólidos, el uso indiscriminado de productos químicos y el crecimiento urbano no planificado. Estas acciones han provocado el deterioro progresivo de ríos, lagos y otras fuentes de agua dulce, reduciendo su disponibilidad y afectando tanto la salud humana como la biodiversidad.

En el Perú, la contaminación de los cuerpos de agua representa un problema ambiental, social y económico de gran magnitud, debido al incremento poblacional y a la limitada gestión de saneamiento ambiental. Muchos ríos son utilizados como receptores de residuos sólidos y líquidos, afectando su calidad y limitando su aprovechamiento para actividades agrícolas, pecuarias e incluso para el consumo humano.

En este contexto, el río Huatatas, ubicado en la provincia de Huamanga, región Ayacucho, presenta una problemática ambiental asociada a la contaminación de sus aguas. A lo largo de su recorrido se desarrollan diversas actividades humanas que generan impactos negativos sobre el recurso hídrico, entre ellas el vertimiento de aguas residuales domésticas, el lavado de vehículos y ropa, la crianza de animales, la extracción de agregados y la disposición inadecuada de residuos sólidos. Asimismo, el crecimiento demográfico y la expansión urbana han incrementado la presión sobre el río, ocasionando mayores niveles de contaminación.

La calidad del agua del río Huatatas dependerá, en gran medida, de que se apliquen adecuadamente medidas de gestión ambiental y de control de la calidad hídrica. Para ello, será necesario realizar monitoreos periódicos que permitan conocer

el estado del agua, así como desarrollar estudios especializados que evalúen sus características físicas, químicas, microbiológicas e hidrobiológicas. Del mismo modo, será fundamental promover la educación y sensibilización ambiental entre la población y los demás actores involucrados. La aplicación conjunta de estas acciones contribuirá a orientar una gestión sostenible del recurso hídrico y a establecer medidas para recuperar y conservar el ecosistema del río Huatatas.

Así mismo, se evidencia una insuficiente apropiación de la problemática ambiental por parte de la población circundante al río Huatatas, asociada al limitado conocimiento técnico sobre el grado de contaminación del recurso hídrico y sus implicancias ecosistémicas, sanitarias y socioeconómicas. Esta situación se encuentra vinculada a la débil cultura ambiental, la limitada difusión de información científica y la escasa percepción del riesgo ambiental, factores que contribuyen a la persistencia de prácticas antrópicas inadecuadas, tales como el vertimiento no controlado de efluentes y la disposición inapropiada de residuos sólidos. En consecuencia, se observa una reducida participación social en procesos de vigilancia ambiental, recuperación ecológica y gestión sostenible del recurso hídrico, lo cual limita la implementación efectiva de medidas orientadas a la mitigación y control de la contaminación del río Huatatas.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el grado de contaminación de las aguas del río Huatatas, según los índices de contaminación (ICO’s), a partir de la evaluación de parámetros microbiológicos, químicos y físicos, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024, en la provincia de Huamanga?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cuáles son los valores de los parámetros microbiológicos como coliformes totales (CT), determinados en las diferentes estaciones y fechas de muestreo

del río Huatatas durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024?

2. ¿Cuáles son los valores de los parámetros químicos como DBO_5, porcentaje de saturación de oxígeno, alcalinidad, dureza total, potencial de hidrógeno (pH) y fósforo total, determinados en las diferentes estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024?
3. ¿Cuáles son los valores de los parámetros físicos como conductividad y sólidos suspendidos totales (SST), determinados en las diferentes estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024?

1.3. Formulación de objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el grado de contaminación de las aguas del río Huatatas, según los índices de contaminación (ICO's), a partir de la evaluación de parámetros microbiológicos, químicos y físicos, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024, en la provincia de Huamanga.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Evaluar los valores de los parámetros microbiológicos, como coliformes totales (CT), en las diferentes estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024.
2. Evaluar los valores de los parámetros químicos, como DBO_5, porcentaje de saturación de oxígeno, alcalinidad, dureza total, potencial de hidrógeno (pH) y fósforo total, en las diferentes estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024.
3. Evaluar los valores de los parámetros físicos, como conductividad y sólidos suspendidos totales (SST), en las diferentes estaciones y fechas de muestreo

del río Huatatas, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El grado de contaminación de las aguas del río Huatatas es alto, según los índices de contaminación (ICO's), a partir de la evaluación de parámetros microbiológicos, químicos y físicos, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024, en la provincia de Huamanga.

1.4.2. Hipótesis específicas

1. Los valores de los parámetros microbiológicos como coliformes totales; evaluados en las estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024, no cumplen con los límites establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 4, conservación del ambiente acuático.
2. Los valores de los parámetros químicos como DBO_5, porcentaje de saturación de oxígeno, alcalinidad, dureza total, potencial de hidrógeno (pH) y fósforo total; evaluados en las estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024, no cumplen con los límites establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 4, conservación del ambiente acuático.
3. Los valores de los parámetros físicos como conductividad y sólidos suspendidos totales (SST); evaluados en las estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024, no cumplen con los límites establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 4, conservación del ambiente acuático.

1.5. Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica por la necesidad de determinar el grado de contaminación de las aguas del río Huatatas durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2024, periodo correspondiente a la temporada de estiaje, mediante la evaluación de la calidad del agua en diferentes estaciones de muestreo ubicadas a lo largo de su cauce. El estudio responde a la importancia de generar información científica actualizada sobre el estado ambiental de este recurso hídrico, considerando su relevancia ecológica, social y económica para la población local.

La ejecución de esta investigación permitió ampliar el conocimiento sobre las condiciones fisicoquímicas, microbiológicas y ambientales del río Huatatas, constituyéndose en un aporte técnico para la comprensión de la dinámica de contaminación presente en este ecosistema acuático. Asimismo, los resultados obtenidos proporcionan evidencia objetiva que puede servir de base para la toma de decisiones relacionadas con la gestión integral, el monitoreo y la conservación de los recursos hídricos en la región de Ayacucho, particularmente en cuerpos de agua con características similares.

En el ámbito ambiental, estudios de esta naturaleza adquieren especial relevancia debido a que contribuyen al diseño de estrategias orientadas a la prevención, mitigación y control de los procesos de contaminación hídrica, promoviendo la conservación de ecosistemas lóticos, cuya función es fundamental para el mantenimiento de la biodiversidad, la estabilidad ecológica y el sostenimiento de las actividades humanas dependientes del recurso agua.

La provincia de Huamanga, capital del departamento de Ayacucho, se encuentra influenciada por las microcuencas de Huatatas y Alameda, siendo el río Huatatas uno de los principales cuerpos hídricos de importancia para la zona. Este río atraviesa las áreas limítrofes de los distritos de Tambillo, San Juan Bautista y Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, cumpliendo un rol importante en el desarrollo de actividades agrícolas,

principalmente por su utilización como fuente de riego de cultivos hortícolas establecidos en sus márgenes.

Adicionalmente, el río Huatatas contribuye a la regulación de condiciones microclimáticas locales, influenciadas por factores como el clima, la temperatura, la precipitación, el relieve y las características hidrológicas de la zona. Del mismo modo, posee un importante valor paisajístico y recreativo, favoreciendo espacios de interacción social y esparcimiento para la población huamanguina.

En ese contexto, la presente investigación adquiere relevancia científica, ambiental y social, debido a que permitirá identificar el estado actual de la calidad del agua del río Huatatas, reconocer posibles fuentes de contaminación y generar información técnica confiable para la formulación de medidas de gestión ambiental orientadas a la protección, recuperación y uso sostenible del recurso hídrico, contribuyendo así al fortalecimiento de políticas de conservación ambiental en la región de Ayacucho.

1.6. Importancia de la investigación

La importancia de la presente investigación radica en la importancia ambiental, hídrica y paisajística que tiene el río Huatatas para la provincia de Huamanga, considerado un recurso estratégico para el equilibrio ecosistémico y el desarrollo sostenible de la provincia de Huamanga. En este contexto, la preservación de su calidad hídrica resulta fundamental para garantizar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos que brinda, así como su potencial aprovechamiento para fines agrícolas, pecuarios, recreativos y, eventualmente, de abastecimiento poblacional.

La investigación estuvo orientada a determinar el grado de contaminación de las aguas del río Huatatas mediante la aplicación de los Índices de Contaminación (ICO’s), a partir del análisis integrado de parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

La evaluación realizada durante la temporada de estiaje, comprendida entre octubre y diciembre de 2024, permitió conocer las condiciones de calidad del agua en este periodo y reconocer los principales aspectos asociados a su deterioro,

proporcionando evidencia técnica para la toma de decisiones orientadas a su manejo y recuperación.

Los resultados obtenidos proporcionarán información técnica sobre el estado de las aguas del río Huatatas. Esta información podrá servir como referencia para futuras investigaciones y como apoyo en la planificación de acciones orientadas al manejo, conservación y recuperación de la calidad ambiental del río Huatatas.

1.7. Delimitación del problema

1.7.1. Delimitación espacial

Esta investigación se desarrolló en el río Huatatas, ubicado en la provincia de Huamanga, región Ayacucho. El área de estudio comprende el tramo que inicia aguas arriba, en las coordenadas UTM 590809,00 m E; 8533061,00 m S, y se extiende hasta el encuentro con el río Alameda ubicado en las coordenadas UTM 588037,71 m E; 8547368,95 m S ubicado en la provincia de Huamanga, Ayacucho.

Asimismo, la investigación comprende con la delimitación espacial (Unidades de muestra) que se describe a continuación:

Estación de muestreo RHuat-01: Se ubicó a 150 m aguas arriba del puente Pucará, entre los distritos de Tambillo y San Juan Bautista, caracterizándose por la presencia de flora, fauna silvestre y áreas de cultivo agrícola.

Estación de muestreo RHuat-02: Se localizó a 200 m aguas abajo del puente Santa Rosa, en el distrito de San Juan Bautista, observándose predominio de cultivos agrícolas y actividades antrópicas, tales como recreación, lavado de vehículos y lavado de ropa.

Estación de muestreo RHuat-03: Se ubicó a 150 m aguas abajo del puente Huatatas, en el distrito de San Juan Bautista, identificándose la presencia de un vivero municipal cercano y evidenciándose actividad antrópica constante en el área.

Estación de muestreo RHuat-04: Se posicionó a 750 m aguas arriba de la confluencia del río Huatatas con el río Alameda, en el distrito de Andrés Avelino Cáceres

Dorregaray, observándose la presencia de una cantera informal y recreos campestres próximos a la estación de muestreo.

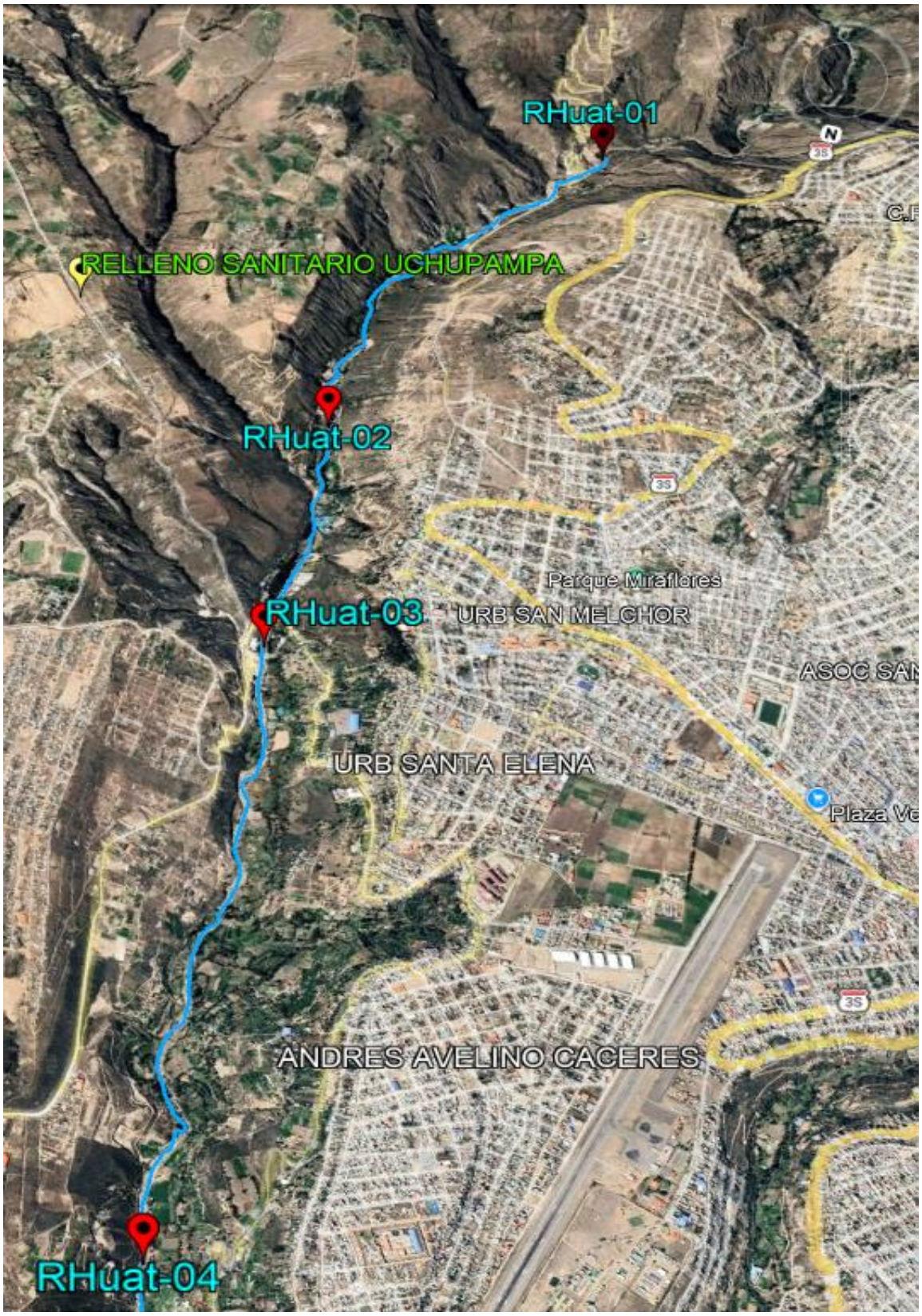
Para determinar dichas estaciones de muestreo, se empleó las recomendaciones de los lineamientos del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales la cual fue aprobada con Resolución de Jefatura N° 010-2016-ANA. En la figura 1 se muestra la distribución de las estaciones de muestreo en el río Huatatas.

1.7.2. Delimitación temporal

La ejecución y evaluación de la investigación fueron realizadas durante la temporada de estiaje, específicamente entre los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2024.

Figura 1

Ubicación de estaciones de muestreo en el río Huatatas



Nota. Fuente: Google Earth (2025)

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacional

- Montero y Ramírez (2018), en Colombia, realizaron la tesis titulada **"Análisis de la variabilidad en la calidad del agua, a partir del uso de índices de contaminación (ICO's) como aporte al POMCA de la cuenca del río Guayuriba"**. La investigación estuvo orientada al análisis comparativo de los niveles de calidad hídrica en la cuenca del río Guayuriba, empleando tanto parámetros fisicoquímicos como índices de contaminación, en una primera etapa, analizaron estadísticamente los parámetros de calidad del agua durante el año 2018, encontrando diferencias significativas en los resultados, en una segunda etapa, llevaron a cabo un análisis comparativo de los Índices de Contaminación (ICO´s) en el periodo comprendido entre 2010 y 2018; dicho enfoque les permitió validar la información obtenida, la cual fue integrada al informe final como una herramienta de apoyo para el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca (POMCA); los autores concluyeron que la polución en el cauce principal del río Guayuriba mostró un crecimiento significativo en el año 2018, este incremento se atribuye principalmente a actividades antrópicas, como el vertimiento directo de aguas residuales; así mismo mencionan que la invasión agrícola por parte del aceite de palma, vertido de agroquímicos y desechos de

agro procesamiento de empresas mineras cerca de las estaciones de muestreo, dieron altos índices de contaminación del rio Guayuriba.

- Béjar y Mendoza (2018), en Ecuador, realizaron la investigación denominada **"Contaminación orgánica del río Chambo en el área de descarga de agua residual de la ciudad de Riobamba"**, cuyo objetivo fue determinar la contaminación orgánica en un tramo del río Chambo, localizado en la provincia de Chimborazo. determinaron el nivel de contaminación orgánica en un tramo del río Chambo, ubicado en la provincia de Chimborazo, Ecuador. La investigación evidenció que tanto las aguas residuales provenientes de Riobamba como las aguas contaminadas del río Chibunga son vertidas directamente al entorno sin tratamiento previo. La metodología empleada se basó en el uso del índice ICOMO, que considera parámetros como oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y coliformes totales, para evaluar el nivel de contaminación. Las muestras se recolectaron durante siete días consecutivos en siete puntos representativos del río. Como resultado, determinaron que los niveles de contaminación orgánica eran bajos antes de la descarga de aguas residuales, pero se incrementaban significativamente después de la misma, asimismo observaron que el río tenía cierta capacidad de auto purificación aguas abajo, favorecida por la topografía y el flujo del cuerpo hídrico.
- Gonzáles (2017), en Colombia, desarrollo la tesis titulada **"Evaluación de los indicadores de calidad ICA e ICO del rio Botello ubicado en el municipio de Facatativá"**, donde evaluó la calidad del agua(ICA) y la contaminación(ICO) en la microcuenca del Río Botello, en Facatativá (Colombia), donde utilizó métodos para analizar factores físicos, químicos y biológicos en puntos clave afectados por vertimientos provenientes de actividades sociales y económicas en áreas rurales y urbanas del área de influencia de la investigación, los resultados más relevantes en cuestión a los ICO (determino que son el resultado directo de las actividades que tienen lugar en su entorno), asimismo concluyo que los

subíndices como ICOMO (relacionado con materia orgánica) e ICOTRO (fósforo total) obtuvieron una cualificación de “Muy Mala”, lo que indica una alta concentración de materia orgánica y sustancias mineralizantes que comprometen la calidad del agua, concluyen que dicha situación repercute de forma negativa en los usos planificados de la microcuenca y obstaculiza el desarrollo socioeconómico de la población local, asimismo los suelos se vieron impactados significativamente, como la disposición de aguas para consumo humano y animal del municipio de Facatativá, especialmente en las áreas rurales.

- Trujillo et al. (2020), en Colombia, realizaron una investigación titulada **“Evaluación de la calidad del agua en la fuente abastecedora de Pitalito – Huila: Río Guachicos y sus afluentes principales, utilizando los índices de contaminación e índice de calidad de agua”**, el objetivo fue evaluar la calidad del agua del río Guachicos y sus principales afluentes en el municipio de Pitalito, Colombia, mediante índices de contaminación e índice de calidad del agua. La investigación comprendió ocho puntos de monitoreo distribuidos en el río Guachicos (parte alta, media y baja) y cinco quebradas tributarias, desarrollándose en cuatro periodos de muestreo entre abril de 2018 y febrero de 2019. Para el análisis se determinaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, aplicándose los índices de calidad del agua (ICA), índice de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) e índice de contaminación trófica (ICOTRO). Los resultados evidenciaron que el ICA clasificó la mayoría de las fuentes como “poco contaminadas”, excepto la quebrada Maralla, que presentó niveles de contaminación media. Asimismo, el ICOMO registró valores medios y altos debido a la elevada carga orgánica, mientras que el ICOTRO evidenció condiciones de hipertrofia asociadas al aporte de fertilizantes, pesticidas y aguas residuales domésticas. Se concluyó que la contaminación del recurso hídrico estuvo principalmente relacionada con

materia orgánica y altas concentraciones de fósforo derivadas de actividades agropecuarias y vertimientos antrópicos, recomendándose medidas de control y restauración ambiental para mejorar la calidad del agua.

- El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (2022), en Guatemala, elaboró el informe titulado **"Índices de Contaminación (ICOS) – abril 2022"**, con el objetivo de evaluar los índices de contaminación del agua en cuerpos hídricos superficiales de Guatemala mediante la aplicación de los Índices de Contaminación (ICOS). El estudio se desarrolló en ocho puntos de monitoreo pertenecientes a estaciones hidrológicas de la red nacional, ubicadas en diferentes cuencas hidrográficas, donde se efectuó el muestreo y análisis de parámetros fisicoquímicos del agua, tales como conductividad, dureza total, alcalinidad, sólidos suspendidos totales (SST) y potencial de hidrógeno (pH). La metodología se basó en la determinación de tres índices de contaminación: índice de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) e índice de contaminación por potencial de hidrógeno (ICOpH), utilizando ecuaciones de correlación para clasificar el grado de contaminación del recurso hídrico. Los resultados evidenciaron que el 75 % de los puntos monitoreados presentaron una contaminación por mineralización muy alta, asociada a elevadas concentraciones de minerales como calcio y magnesio; asimismo, el ICOSUS mostró variabilidad entre los puntos evaluados, registrándose niveles desde ninguna contaminación hasta muy alta contaminación por sólidos suspendidos, mientras que el ICOpH indicó ausencia de contaminación significativa debido a que los valores de pH se mantuvieron dentro de rangos normales. Se concluyó que, aunque algunos cuerpos de agua pueden ser utilizados para diferentes actividades, es necesario aplicar tratamientos previos y fortalecer el monitoreo de calidad del agua para garantizar el cumplimiento de estándares ambientales.

2.1.2. Nacional

- Ramos (2021), en Perú , desarrollo una en la cuidad de Andahuaylas , región Apurímac, titulada **“Variación espacial y temporal de los índices de contaminación del agua en la microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, 2018”**, donde evaluó el grado de contaminación presente en las aguas de la microcuenca del río Chumbao, para lo cual determino la variación espacial y temporalmente de dichos índices en ocho puntos de muestreo, los resultados mostraron que el índice ICOSUS fluctuó desde 0,06 a 0,39 en la temporada de lluvias, y de 0,00 a 0,28 en temporada seca, señalando "ninguna" contaminación y "baja" por sólidos suspendidos en ambos periodos. El índice ICOMI varió de 0,02 a 0,35 en época de lluvias y de 0,08 a 0,90 en la temporada seca. De igual modo, el ICOMO presentó valores entre 0,11 a 0,34 durante la época lluviosa, y entre 0,08 a 0,83 en la seca, lo que reflejó contaminación que fue de “ninguna” a “baja” en lluvias, y de “ninguna” a “muy alta” en época de estiaje para los dos índices, por último, el ICOTRO mostró condiciones mesotróficas y eutróficas en la temporada de lluvias, y eutróficas durante la temporada seca, concluyendo que la polución de las aguas del río Chumbao tiende a incrementarse a lo largo de su trayecto, siendo más evidente durante la temporada seca.
- Estremadoyro y Zeballos (2022), en Perú, desarrollaron una tesis en la ciudad de Tarma en la región Junín, titulada **“Evaluación de los Índices de Contaminación del Agua del Río Tarma - Junín - 2021”**, donde calcularon los índices de contaminación (ICO) en el río Tarma, ubicado en el departamento de Junín, durante el año 2021, para ello, seleccionaron cinco puntos de muestreo y analizaron diversos parámetros fisicoquímicos del agua, como la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO_5) mediante espirometría con el sistema EVO-DBO de la marca VELP, el pH utilizando un potenciómetro modelo HI 5521 de HANNA, y tanto el porcentaje de oxígeno disuelto (% OD) como la

temperatura con un multiparámetro de campo modelo HI 9829 de HANNA, asimismo determinaron la presencia de coliformes totales, para calcular los ICOS, aplicaron modelos matemáticos ponderados, tomando en cuenta datos físicos, químicos y microbiológicos, también determinaron el ICOpH(contaminación por variación del pH), ICOTEM(contaminación por variación de temperatura) y el ICOMO (contaminación por materia orgánica) estos índices fueron evaluados en una escala que iba desde “Muy alto” hasta “Ninguno”; los resultados mostraron que, en las zonas aguas abajo del río Tarma, el ICOpH fue clasificado como “Ninguno”, el ICOTEM se situó entre “Ninguno” y “Bajo”, el ICOMO estuvo entre “Bajo” y “Muy alto”. Finalmente, los autores concluyeron que el río Tarma presenta niveles de contaminación asociados principalmente a variaciones en el pH, la temperatura y la presencia de materia orgánica, siendo más intensas estas alteraciones en los tramos ubicados aguas abajo, lo que evidencia un deterioro progresivo de la calidad del agua a lo largo de su curso.

- Quispe (2021), en Perú, en la región Apurímac desarrollo la tesis titulada **“Actividades antrópicas y calidad del agua en el rio Chumbao, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac, 2019”**, en ella investigó cómo las acciones humanas influyen en estado del recurso hídrico del río Chumbao. Para ello, utilizó los Índices de Contaminación (ICO) como herramienta principal de evaluación. El estudio abarcó un tramo del río comprendido entre las coordenadas UTM: punto inicial (682457.8 X, 8483792 Y) y punto final (667376.7 X, 8491705.7 Y), instalando cinco estaciones de monitoreo aproximadamente cada 4 kilómetros, la metodología empleada consistió en reconocer los factores de origen humano que alteran las condiciones del recurso hídrico del río Chumbao y medir distintos parámetros fisicoquímicos tales como la demanda bioquímica de oxígeno(DBO_5) mediante respirometría, porcentaje de oxígeno disuelto (%OD) y la temperatura usando un equipo multiparámetro portátil y el pH con un potenciómetro, asimismo, realizó un análisis microbiológico mediante

el método de tubos múltiples para determinar la concentración de coliformes totales. Para calcular los ICOS, utilizó fórmulas ponderadas basadas en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, estableciendo los siguientes índices: ICOpH que es la contaminación por variación del pH, ICOTEM referido a la contaminación por variación de temperatura y el ICOMO relacionado a la contaminación por materia orgánica. Los niveles de polución detectados variaron desde “Muy alto” hasta “Ninguno”; obtuvo como resultados que en la zona aguas abajo del río Chumbao mostraron que el ICOMO fluctuó entre los niveles de “Bajo” y “Muy alto”, el ICOTEM se ubicó entre “Ninguno” y “Bajo”, mientras que el ICOpH se mantuvo en el nivel de “Ninguno”, dichos hallazgos reflejaron que conforme el río avanza, se evidencian procesos contaminantes relacionados con materia orgánica, alteraciones en el pH y fluctuaciones térmicas, de acuerdo con los ICOS evaluados, finalmente concluyó que las actividades antrópicas como actividades domésticas, industriales, agrícolas, pecuarias y acuícolas son responsables del deterioro ambiental del río Chumbao.

- Gamarra et al. (2018), en Perú, en la región Amazonas desarrollaron la investigación titulada **“Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú”**, cuyo objetivo fue evaluar la calidad del agua e identificar las principales fuentes de contaminación presentes en la cuenca del río Utcubamba, ubicada en la región Amazonas, Perú. El estudio se desarrolló mediante el establecimiento de 43 estaciones de muestreo distribuidas a lo largo de la cuenca, evaluadas durante dos temporadas hidrológicas (lluviosa y seca), considerando 19 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua. Los resultados evidenciaron que las principales fuentes de contaminación estuvieron asociadas a residuos agropecuarios, descargas domésticas sin tratamiento, presencia de vertederos ilegales, actividades de extracción en canteras y la disminución de la vegetación ribereña. Asimismo, se identificaron diferencias significativas entre los distintos tramos de la cuenca y entre temporadas de muestreo en variables como conductividad

eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez y parámetros microbiológicos. Finalmente, los autores concluyeron que, aunque la mayoría de parámetros fisicoquímicos se mantuvieron dentro de los límites establecidos por los estándares ambientales, la contaminación de origen agrícola, doméstica y fecal representa un riesgo para la calidad del recurso hídrico, destacando la necesidad de implementar estrategias de control y monitoreo ambiental.

- Recavarren (2017), en Perú, desarrollo una tesis en la ciudad de Tingo María, región Huánuco, titulada **"Índices de contaminación (ICO's) del agua residual generada en fabricación de vinos y piscos de la Bodega Recavarren EIRL en la ciudad de Tingo María"**, donde analizó el impacto ambiental de las aguas residuales producidas a lo largo de las diversas fases de producción de vinos y piscos. La investigación se enfocó en evaluar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para calcular varios índices de contaminación (ICO's), comparando estos resultados con los límites establecidos por el D.S. N° 015-2015-MINAM para aguas que pueden ser tratadas convencionalmente para potabilización, los hallazgos mostraron que varios parámetros superaron los límites permitidos, entre ellos la DBO_5 con 13 mg/L, sólidos totales con 9,849 mg/L, fósforo total con 38 mg/L y un pH de 5; además, determinó otros parámetros como coliformes totales, oxígeno disuelto, conductividad, dureza, y alcalinidad que sirvieron para calcular diferentes índices de contaminación, entre ellos, el ICOMI indicó contaminación alta, el ICOMO contaminación media, el ICOSUS contaminación muy alta, el ICOTRO contaminación con potencial de hipertrofia, y el ICOPH contaminación media; el índice más preocupante fue el ICOSUS, clasificado como contaminación muy alta, debido a la gran cantidad de material en suspensión generado durante la producción de vinos. También se estableció que para elaborar 2,000 litros de vino se requieren 5,035 litros de agua, lo que representa un consumo de 2,52 litros de agua por cada litro de vino producido. Finalmente, el autor concluyó que el proceso productivo de vinos genera un alto nivel de contaminación y recomendó la implementación de un

plan de gestión ambiental para reducir los impactos negativos derivados de esta actividad.

2.1.3. Local

- Jayo (2022), en Perú, desarrollo una tesis en la provincia de Huamanga, región Ayacucho, titulada **"Evaluación de la contaminación del río Muyurina empleando el método de los índices de contaminación (ICO), Ayacucho 2018-2019"**, donde determinó la contaminación del río Muyurina a través del uso de los Índices de Contaminación (ICO's), para ello estableció cuatro puntos de muestreo distribuidos a lo largo de casi 3 kilómetros del río, efectuando un total de seis muestreos, tres de estos fueron realizados durante la época de estiaje (noviembre y diciembre correspondiente al año 2018, y el mes de enero correspondiente al año 2019), y los otros tres durante la temporada de lluvias entre los meses de febrero, marzo y abril correspondientes al año 2019. Los resultados mostraron que el ICOMI (Contaminación por mineralización) indicando una contaminación de nivel "Media" en la temporada seca y "Alta" en la época lluviosa, el ICOMO (Contaminación por materia orgánica) registró un nivel "Alto" en estiaje y "Bajo" en época de lluvias, en cuanto al ICOpH (Índice de contaminación por pH), no se detectó contaminación en ninguna de las dos temporadas, clasificándose como "Ninguno", el ICOSUS (Contaminación por sólidos suspendidos) mostró una contaminación "Baja" durante la época seca y "Media" en la época lluviosa , finalmente, el ICOTRO (Índice de contaminación por nutrientes relacionados con la eutrofización) indicó un estado eutrófico, es decir, con alto contenido de nutrientes, en ambas estaciones. En conclusión, Jayo determinó que la contaminación por sólidos suspendidos varía entre estaciones, con un aumento considerable durante la estación lluviosa en relación con la estación seca, evidenciando en general una mayor carga contaminante en la temporada de lluvias.

- Aronés, Véliz y Palomino (2018), en Perú, en la región de Ayacucho, provincia de Huamanga desarrollaron la investigación titulada **"Evaluación de la calidad del agua del río Huatatas, aplicando el ICA región Ayacucho"**, donde evaluaron el estado de la calidad del agua del río Huatatas, mediante la aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA). El estudio se desarrolló en un tramo crítico de 5,4 km del río Huatatas, abarcando desde su parte alta (a 2724 m.s.n.m.) hasta su convergencia con el río Alameda (a 2552 m.s.n.m.). Se establecieron cuatro estaciones de muestreo, donde se tomaron muestras en cuatro momentos distintos del año 2017, cubriendo tanto la temporada de estiaje como la de lluvias. Los parámetros analizados incluyeron los fisicoquímicos como el olor, color, turbiedad, temperatura, pH, sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST), oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), fosfatos y nitratos, y los microbiológicos como los coliformes fecales. Los análisis se realizaron tanto en campo como en laboratorio. Los resultados del ICA mostraron que la calidad del agua en la parte alta del río (estación RHuat-01) fue clasificada como buena, mientras que en las estaciones aguas abajo, la calidad osciló entre regular y buena, evidenciando un ligero deterioro en la calidad del agua conforme se desciende por el cauce del río.

2.2. Bases teóricas

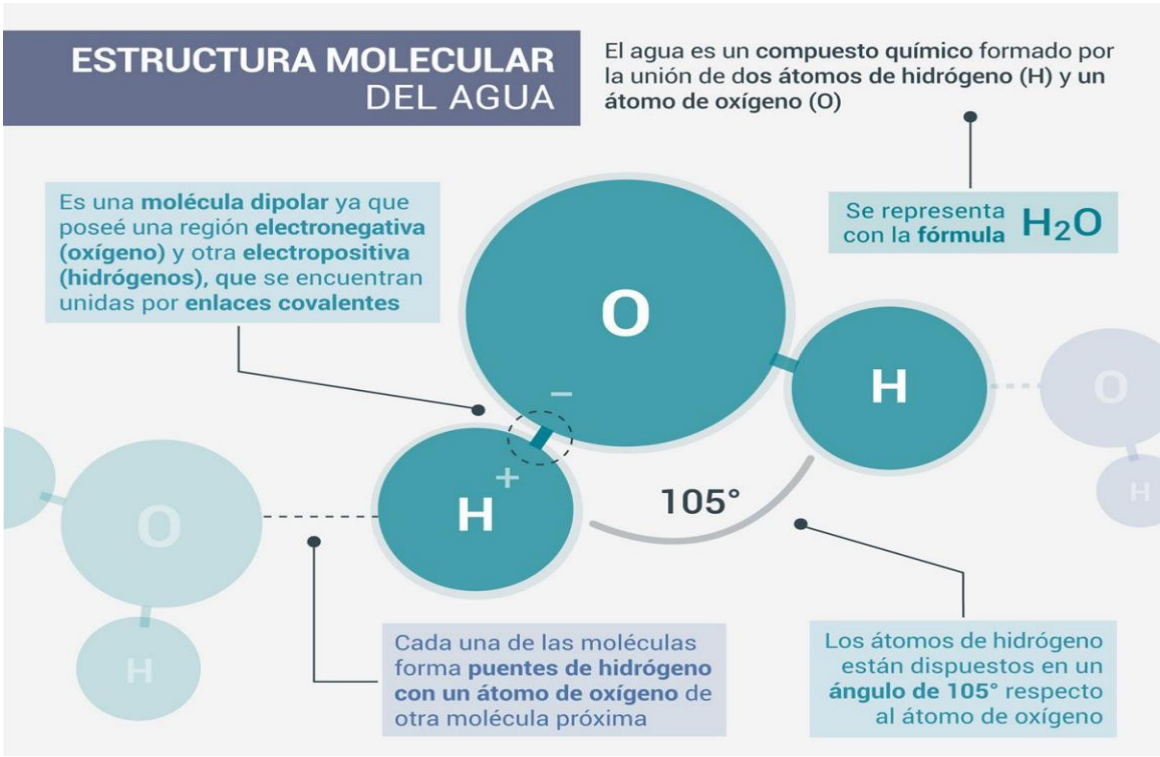
2.2.1. Definición de agua

El agua es un recurso natural indispensable para la existencia de los seres vivos y el funcionamiento de los ecosistemas. Desde el punto de vista químico, está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O), característica que le confiere propiedades físicas y químicas esenciales para el mantenimiento de la vida y el desarrollo de procesos biológicos, ambientales y productivos. Además, se encuentra presente en los tres estados físicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso, participando activamente en el ciclo hidrológico terrestre (Maceira, 2020)

El agua cubre aproximadamente el 71 % de la superficie terrestre; sin embargo, cerca del 97,5 % corresponde a agua salada presente en océanos y mares, mientras que solo alrededor del 2,5 % es agua dulce. De esta última, una mínima proporción se encuentra disponible para el consumo humano, principalmente en ríos, lagos y acuíferos, lo que evidencia la necesidad de una adecuada gestión y conservación del recurso hídrico.

Figura 2

Esquema de la estructura molecular del agua



Nota. Que es el agua, estructura molecular. Tomado de *Centro Virtual de Información del Agua (Gráfico)*, 2017, https://agua.org.mx/que-es/

2.2.2. Aguas continentales

Las aguas continentales son cuerpos de agua en estado líquido que se localizan dentro de los continentes como se muestra en la figura 1, normalmente compuestas por agua dulce. Permanecen de forma continua en la biosfera y pueden originarse por precipitaciones (lluvia, nieve o granizo) o por el afloramiento de aguas subterráneas (Fernández, 2019)

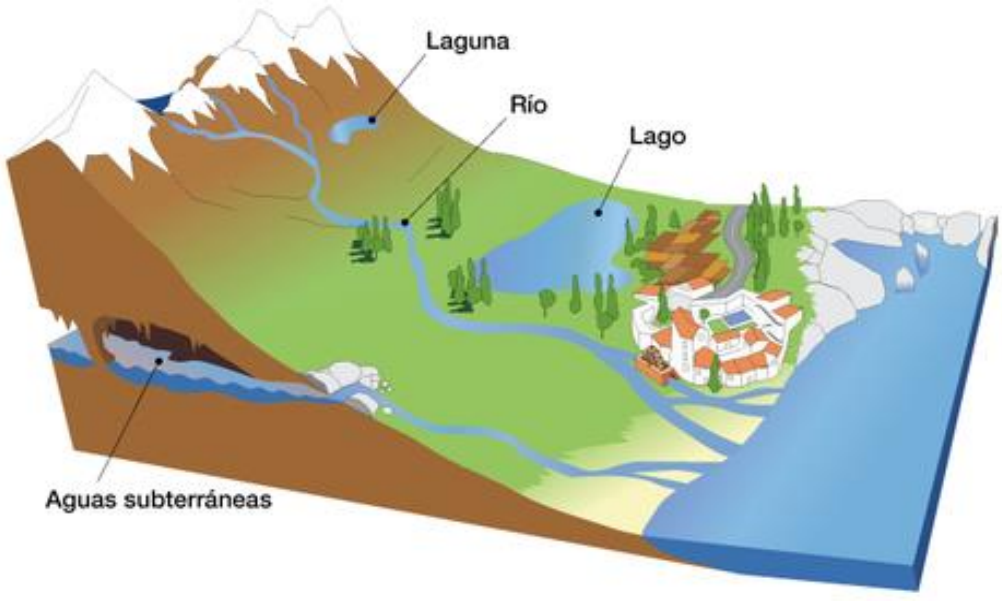
2.2.2.1. Características de las aguas continentales

La bióloga Laura Fernández (2019) en la revista “Ecología verde”, menciona algunas características más destacadas de las aguas continentales:

- ✓ Las masas de agua dulce de las aguas continentales están ubicadas lejos de las costas, formando cuerpos de agua interiores.
- ✓ Su existencia depende de fenómenos naturales como las precipitaciones (líquidas y sólidas), inundaciones, desbordes de ríos o incluso el aumento del nivel marítimo.
- ✓ Estas aguas pueden mantenerse de manera continua, por temporadas o de forma ocasional.
- ✓ Estas aguas pueden contaminarse tanto por procesos naturales, como la eutrofización, como por acciones humanas, tales como el vertido de aguas residuales y la liberación de sustancias tóxicas provenientes de actividades industriales, mineras o agrícolas que emplean fertilizantes y compuestos químicos nocivo (Fernández, 2019)

Figura 3

Esquema de las aguas continentales



Nota. Fuente: https://www.goconqr.com/ficha/4144501/aguas-continentales

De toda la precipitación que ocurre, una fracción se acumula en la superficie terrestre en forma de aguas continentales superficiales, otra parte se filtra en el suelo dando origen a aguas subterráneas, y el resto se evapora y vuelve a la atmósfera.

2.2.2.2. Tipos de aguas continentales

Existen dos grandes grupos de aguas continentales, estas se detallas a continuación:

A. Aguas continentales superficiales

Las aguas superficiales continentales son aquellas que se localizan sobre la superficie terrestre, ya sea en reposo o en movimiento. Estas aguas fluyen sobre las zonas emergidas del continente (plataforma continental) y, por lo general, tienen su origen en las precipitaciones que ocurren dentro de cada cuenca hidrográfica (Fernández, 2019).

Entre las principales formaciones de aguas continentales superficiales se incluyen los ríos, arroyos y riachuelos; embalses y pantanos; lagos y lagunas, ya sean de agua dulce o salada; humedales, cañadas y mares interiores; así como llanuras de inundación, albuferas (que se originan por mareas altas en zonas costeras bajas), chotts o lagos salados en regiones semiáridas, y también las aguas polares y glaciares (Fernández, 2019).

Asimismo, se puede diferenciar de este grupo a las aguas superficiales con un sistema lótico (Son aquellas que fluyen constantemente en una dirección, como ríos, arroyos, manantiales y riachuelos) y aguas superficiales de sistema léntico (Son aguas quietas o estancadas, como lagos, lagunas, charcos, humedales y pantanos).

B. Aguas continentales subterráneas

Según Fernández (2019), se trata de masas de agua perennes que pueden encontrarse tanto en la superficie como en el subsuelo terrestre, fuera de las áreas costeras, con excepción de las desembocaduras de ríos y existen otras corrientes, como

los manantiales, los acuíferos y las fuentes de aguas subterráneas (dotación para consumo humano).

2.2.3. El río Huatatas

El río Huatatas se encuentra en el departamento de Ayacucho, dentro de la provincia de Huamanga, y atraviesa los distritos de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, San Juan Bautista y Tambillo. Este río actúa como límite natural entre el distrito de Tambillo y el margen derecho del distrito de San Juan Bautista, así como entre San Juan Bautista y Andrés Avelino Cáceres Dorregaray en su margen izquierdo.

La micro cuenca de Huatatas se encuentra entre los 2530 m.s.n.m. y los 4300 m.s.n.m, su topografía variable y fuertemente accidentada, con importantes áreas a lo largo de su recorrido. Presenta una altura media simple de 3415 m.s.n.m. de altitud (De la Cruz, 2016). Los terrenos ubicados al lado izquierdo del río Huatatas presentan en su mayoría una pendiente moderada, lo cual permite su aprovechamiento agrícola. En estas tierras se cultivan principalmente frutales, aunque la actividad agrícola en la zona es de carácter estacional y orientada mayoritariamente al autoconsumo.

Es importante resaltar que las personas que viven en la zona de influencia de esta investigación, una gran parte de ellos vive en condiciones de pobreza y pobreza extrema. Esta realidad socioeconómica hace prioritaria la implementación de iniciativas que contribuyan a mejorar sus condiciones de vida y garantizar su seguridad alimentaria.

La actividad agrícola de la zona, depende totalmente de las precipitaciones durante la temporada de lluvias, que se concentran entre diciembre hasta abril. Como consecuencia, solo es posible desarrollar una campaña al año, lo que limita los volúmenes de producción y los ingresos de las familias agricultoras. Además, los cultivos son altamente vulnerables a fenómenos climáticos adversos como sequías o veranillos durante el periodo vegetativo, lo que ocasiona pérdidas significativas en la producción y acentúa la situación de precariedad de los agricultores.

A lo largo del cauce del río Huatatas, se ha identificado una intensa interacción entre el ser humano y el entorno natural. Este recurso de agua se utiliza principalmente

para la agricultura, la ganadería, actividades recreativas y el consumo doméstico. Estas prácticas, si bien representan un soporte fundamental para la economía local y la subsistencia de muchas comunidades, también han dado lugar a una creciente preocupación ambiental.

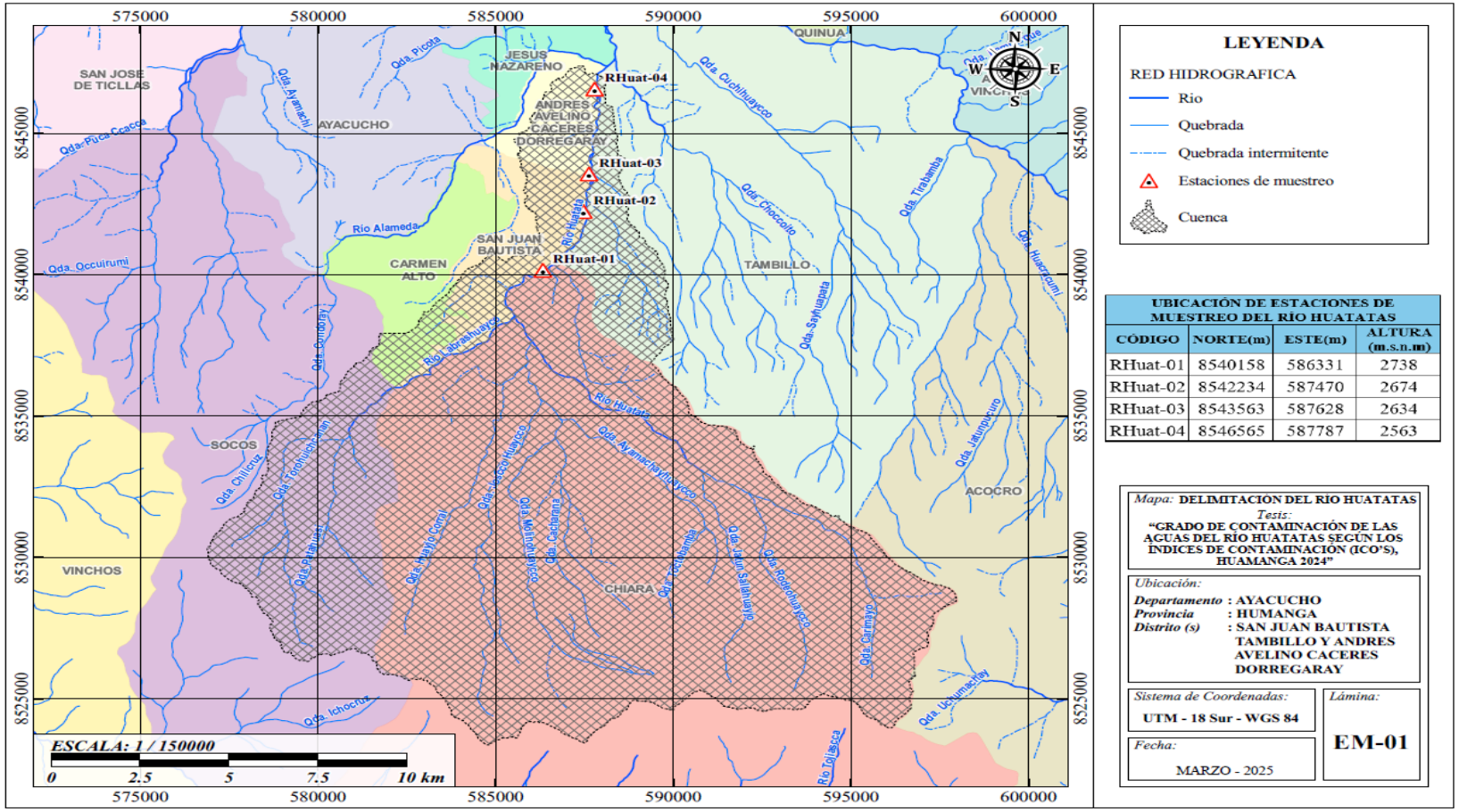
Se ha evidenciado que estas actividades humanas están contribuyendo, de manera progresiva, a la contaminación del río. Entre los factores más relevantes se encuentran el vertido de residuos agrícolas y agroquímicos, el uso inadecuado del agua para riego, el vertido de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento y la acumulación de basura en zonas ribereñas. Este tipo de contaminación compromete la calidad del agua, pone en riesgo los ecosistemas acuáticos y amenaza la salud humana.

La situación del río Huatatas requiere una respuesta urgente que combine la gestión sostenible del recurso hídrico con una mayor concientización social y políticas públicas enfocadas en la protección ambiental. Solo a través de un enfoque integral se podrá garantizar la preservación del río para las generaciones futuras.

A continuación, se muestra la figura 4; donde se observa la delimitación espacial del río Huatatas asimismo sus fuentes aportes y efluentes.

Figura 4

Delimitación del río Huatatas sus aportantes y efluentes



Nota. Fuente: Elaboración propia, a partir de la delimitación de la cuenca hidrográfica del río Huatatas, mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), 2025.

Figura 5

Puntos críticos de contaminación de las aguas del río Huatatas



Nota. La figura muestra los puntos críticos de contaminación de las aguas del río Huatatas. En la parte superior se presenta el área circundante al puente Santa Rosa (RHuat-02) y, en la parte inferior, el área circundante al puente Huatatas (RHuat-03).

Figura 6

Fuentes de contaminación de las aguas del río Huatatas



Nota. En la figura se observan las actividades antrópicas que se realizan con mayor frecuencia en las riberas del río Huatatas, tales como la recreación, el lavado de ropa, el lavado de vehículos y la inadecuada disposición de residuos sólidos, las cuales constituyen fuentes de contaminación móvil y difusa.

2.2.4. Calidad del agua

La calidad del agua abarca todas las características que influyen en su estado y en su idoneidad para diversos fines, en función de cómo estas características se relacionan con los requerimientos del usuario. De igual modo, la calidad del agua depende de los sólidos y gases que contenga, ya estén disueltos o en suspensión, y que repercuten en sus características (Monteagudo, 2015).

El conjunto de parámetros que indican que el agua puede cumplir con los requisitos y utilizarse para diversos fines, incluyendo uso industrial, doméstico, riego y recreativo, se denomina calidad del agua (MINAM, 2017).

El Decreto Supremo Nº 002-2008-MINAM y su modificación Nº 004-2017-MINAM establecen en Perú los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el agua, los cuales fijan los requisitos que deben cumplirse según el uso específico de cada cuerpo de agua. Estos estándares clasifican el agua en cuatro categorías principales: 1) Uso para consumo poblacional y actividades recreativas, 2) Uso en la extracción, cultivo y actividades marino-costeras y continentales, 3) Uso para riego de cultivos y suministro de agua para animales y 4) Uso orientado a la conservación del ambiente acuático (MINAM, 2017).

2.2.4.1. Calidad de agua superficial

El concepto de agua superficial hace referencia al agua presente en cuerpos visibles como un lago, río, arroyo, humedal, arroyo; masa de agua que generalmente es susceptible a los efectos de la contaminación y que se utiliza comúnmente como fuente de agua dulce para diversos fines, incluido el suministro de agua potable.

La calidad del agua superficial depende tanto de las características intrínsecas de los recursos hídricos y su entorno, como de las actividades humanas y la ocupación efectiva del territorio que se desarrollan en las cuencas hidrográficas (Salvioli et al., 2017).

Un río constituye un sistema que incluye tanto el cauce principal como sus afluentes, transportando de forma unidireccional una carga considerable de materia, ya sea en forma disuelta o particulada, proveniente de fuentes naturales y humanas

Las aguas superficiales frecuentemente revelan la presencia de diversos contaminantes. Uno de los factores que contribuyen a esta contaminación es el tratamiento del agua con productos químicos desinfectantes, como el cloro, el dióxido de cloro, el ozono o el bromo. Estos desinfectantes, al reaccionar con sustancias orgánicas naturales presentes en el agua, pueden generar subproductos tóxicos e incluso cancerígenos (Salvioli et al., 2017).

Además, las fuentes de contaminación también incluyen productos químicos agrícolas, como pesticidas y fertilizantes, que se filtran hacia cuerpos de agua a través del escurrimiento superficial. A esto se suman las emisiones provenientes de actividades industriales, comerciales y del transporte, que liberan contaminantes peligrosos al ambiente y, en última instancia, a los sistemas hídricos (Vier, 2024).

2.2.5. Monitoreo de la calidad de aguas superficiales

Según la Autoridad Nacional del Agua (2016), la creciente presión y los efectos adversos de las actividades humanas sobre los recursos hídricos hacen indispensable la implementación de medidas de vigilancia y control, con la finalidad de evaluar y proteger la calidad del recurso hídrico.

El monitoreo enfocado en evaluar la calidad de los recursos hídricos consiste en diagnosticar el estado de los cuerpos de agua a través del análisis de parámetros físico-químicos, información recolectada a través de mediciones y observaciones estructuradas de variables en cuerpos de aguas superficiales. Estas mediciones se realizan empleando la metodología y los procedimientos normalizados descritos en el protocolo de seguimiento, la aplicación estricta de estos métodos reduce al mínimo los errores y asegura la obtención de datos e información consistentes y confiables.

En la tabla 1, se muestra los parámetros mínimos recomendados para el monitoreo de la calidad de agua dividido en 04 categorías esto para recursos hídricos superficiales.

Tabla 1

Parámetros mínimos de monitoreo de recursos hídricos superficiales

Parámetros	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4 Ríos, lagunas y lagos	Categoría 4 Ecosistemas marino-costeros
Parámetros de campo	pH, T, Cond, OD	pH, T, OD	pH, T, Cond, OD	pH, T, Cond, OD	pH, T, OD
Parámetros químico-físicos	DBO_5, AyG, $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_3$, P, metales (Al, As, B, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn)	DBO_5, AyG, SST, $N\text{-}NO_3$, P, sulfuros, metales (As, B, Ba Cd, Cu, Cr^{+5}, Hg, Ni, Pb, Zn)	DBO_5, AyG, $N\text{-}NO_3$, sulfatos, metales (Al, As, B, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn)	DBO_5, AyG, SST, $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_3$, P, metales (As, Ba Cd, Cu, Cr^{+5}, Hg, Ni, Pb, Zn)	DBO_5, AyG, $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_3$, P, métales (As, Cd, Cu, Cr^{+5}, Hg, Ni, Pb, Zn)
Parámetros microbiológicos	Coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, Organismo de vida libre	Coliformes termotolerantes.	Coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, Huevos y larvas de helmintos.	Coliformes termotolerantes.	

Nota. Fuente: Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016- ANA)

2.2.6. Usos del agua

Según el Manual de Usos del Agua del ANA (2019), indica que los principales usos del agua son:

a) Uso primario:

- Garantiza la satisfacción de las necesidades humanas primarias.
- Es libre y gratuito.
- Es cuando se usa aguas superficiales y subterráneas que afloran naturalmente en sus fuentes naturales; para el alimento, el aseo personal y en ceremonias culturales.
- Es usada directamente de la fuente natural, sin empleo de herramientas o maquinarias.

b) Uso poblacional:

- El agua es captada de una fuente natural, tratada y distribuida para las necesidades básicas.
- Se recibe a través de conexiones domicilarias (redes públicas), camiones cisternas, pozos domicilarios, otros.
- Tiene un costo.

c) Uso productivo:

- Cuando el agua sirve para desarrollar variados procesos de producción y realizar actividades económicas.
- Para este tipo de uso, se necesita la autorización de la Autoridad Nacional del Agua, con la participación y conocimiento de los ministerios o entidades públicas respectivas.
- Algunas de las actividades de este tipo de uso son: agrícola, pesquero, energético, industrial, minero, medicinal, recreativo, transporte y turístico.

2.2.7. Contaminación de aguas superficiales

La contaminación del agua se produce cuando sustancias dañinas, como productos químicos o microorganismos, llegan a fuentes de agua como arroyos, ríos, lagos, océanos y acuíferos. Esto altera su calidad y puede convertirla en un riesgo para la salud de las personas y el equilibrio del medio ambiente (Denchak, 2023).

“Los componentes físicos, químicos y biológicos que definen las características de un cuerpo de agua, al sobrepasar ciertos límites, pueden provocar daños tanto en la salud humana como en el medio ambiente. La autoridad competente cuenta con la facultad legal para exigir que se respeten estos límites” (Sarmiento, Meléndez, & Loyola, 2016).

Los recursos hídricos de aguas superficiales como los ríos, lagos, etc., aportan de manera significativa al desarrollo económico de una nación, y pueden emplearse en diversas actividades como la pesca, riego, transporte, producción de energía, turismo y entretenimiento (Galarza et al., 2021).

La contaminación de las aguas superficiales crece de manera constante como resultado del aumento de la actividad industrial. Esta contaminación puede afectar negativamente la belleza natural, las fuentes de alimento y los ecosistemas.

2.2.7.1. Tipos de contaminación de aguas superficiales

El agua puede contaminarse por microorganismos, productos químicos y desechos como fertilizantes, plásticos o sustancias radiactivas. Dado que estos contaminantes suelen ser invisibles, se analiza el agua y la vida acuática para determinar su calidad.

Según la revista ambiental TELWESA (2022), los tipos de contaminación del agua según su origen son:

A. Contaminación natural

Surge de procesos naturales, como el exceso de nutrientes y el crecimiento de organismos acuáticos que modifican el agua. Aunque requiere control, sus efectos suelen ser leves y temporales.

B. Contaminación antropogénica

Proviene de actividades humanas que alteran la composición y calidad del agua, como los vertidos industriales, agrícolas, ganaderos o de aguas residuales, y suele tener consecuencias más graves y duraderas.

Un resumen de los tipos de contaminantes del agua se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 2

Tipos de contaminantes según su origen

Tipo de contaminante	Ejemplos / Origen	Efectos principales en el agua y los organismos
Microorganismos patógenos	Bacterias, virus, protozoos	Enfermedades como cólera, tifus o hepatitis
Desechos orgánicos	Residuos biodegradables, excrementos de ganado	Consumo de oxígeno, liberación de sustancias tóxicas, afecta la vida acuática
Sustancias químicas inorgánicas	Ácidos, sales, metales tóxicos	Daños a seres vivos, cultivos y equipos
Nutrientes vegetales inorgánicos	Nitratos, fosfatos	Eutrofización, disminución de oxígeno y biodiversidad
Compuestos orgánicos	Petróleo, plásticos, plaguicidas	Persisten largo tiempo, difíciles de degradar
Sedimentos y materiales suspendidos	Partículas en suspensión	Turbidez, afecta alimentación, desove y hábitats
Sustancias radiactivas	Isótopos radiactivos solubles	Acumulación en organismos y cadenas tróficas
Contaminación térmica	Agua caliente de industrias o centrales energéticas	Disminuye oxígeno, perjudica organismos acuáticos

Nota: Fuente: (Valdivielso, 2025)

2.2.8. Parámetros microbiológicos, químicos y físicos

Entre los parámetros estudiados tenemos: Coliformes totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, alcalinidad, dureza total, pH, fósforo total, conductividad eléctrica y sólidos suspendidos totales.

2.2.8.1. Coliformes totales

Los coliformes totales comprenden a todo el grupo; son bacilos Gram negativos. Los aeróbicos y anaeróbicos facultativos, que no son esporulados, se distinguen por su habilidad para fermentar la lactosa generando ácido y gas, en un lapso de 24 a 48 horas y una temperatura de incubación que oscila entre 30 y 37 °C (Alvarado, 2020).

Estas bacterias están presentes en el ambiente, incluyendo el suelo, la vegetación y el tracto intestinal de animales de sangre caliente. Aunque la mayoría de estas bacterias no representan un riesgo directo para la salud humana, su presencia en aguas subterráneas es inusual y puede indicar una contaminación reciente.

La mayor parte de las bacterias coliformes son inofensivas para las personas, sin embargo, algunas pueden provocar afecciones leves y algunas, transmitidas a través del agua, pueden causar enfermedades serias. Frecuentemente, las bacterias coliformes son conocidas como “organismos indicadores”, ya que señalan la posible existencia de bacterias que provocan contaminación del medio acuático (Swistock, 2023).

2.2.8.2. Coliformes termotolerantes

Estas bacterias son conocidas también como coliformes fecales, ya que se originan comúnmente en el intestino de algunas especies animales y, en consecuencia, se encuentran en la materia fecal.

Se denominan bacterias coliformes termotolerantes debido a su capacidad para fermentar la lactosa a temperaturas elevadas, generalmente entre los 44 y 45 °C. Los géneros que conforman este grupo incluyen Escherichia, Enterobacter y Klebsiella, siendo Escherichia coli la especie de mayor relevancia. La presencia de coliformes termotolerantes, y en particular de E. coli, es una manifestación clara de contaminación de origen fecal en cuerpos de agua (López, 2023).

Escherichia coli (E. coli) es una bacteria gram negativa que vive naturalmente en el sistema digestivo humano. Sin embargo, cuando se encuentra fuera de su hábitat natural, puede actuar como un patógeno oportunista, provocando infecciones gastrointestinales, urinarias, diarreas y otras enfermedades bacterianas. Debido a su alta concentración en las heces, la existencia de E. coli se considera una señal común de contaminación microbiológica proveniente de heces (Villavicencio et al., 2023).

2.2.8.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

La demanda bioquímica de oxígeno en cinco días (DBO_5) se refiere a la medida del oxígeno disuelto que los microorganismos requieren durante un lapso de cinco días para llevar a cabo la descomposición de la materia orgánica en el agua.

Este indicador permite evaluar la calidad del agua en función de la cantidad de materia orgánica que contiene, y ayuda a calcular el oxígeno requerido para su tratamiento o depuración (Eurofins, 2025).

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) se emplea para evaluar el nivel de contaminación orgánica en el agua. Esta se mide después de cinco días, bajo condiciones sin luz (no fotosintéticas), y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O_2/L). Valores elevados de DBO suelen reflejar una alta presencia de materia orgánica contaminante (Udelar, 2018).

2.2.8.4. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto en el agua se mide comúnmente en ppm (partes por millón) o mg/L de O_2, y representa la cantidad de oxígeno presente en el agua. Las aguas superficiales limpias suelen tener altos niveles de oxígeno, vitales para la vida acuática. Por el contrario, niveles bajos de oxígeno disuelto indican contaminación orgánica, Disminución en la pureza del agua y obstáculos para la conservación de determinadas formas de vida.

Una concentración de oxígeno inferior a la idónea a una temperatura específica (menos de 5 mg O_2/L) señala que se encuentra en estado subsaturado, y la anoxia podría señalar una contaminación orgánica del cuerpo de agua. Sin embargo, valores elevados (>12 mg/L) podrían evidenciar una sobresaturación de oxígeno disuelto y sugerir un aumento en la producción básica de materia orgánica del sistema, debido a una abundante población de algas (floración algal) que liberan oxígeno como resultado de la actividad fotosintética (Udelar, 2018).

2.2.8.5. Porcentaje de saturación de oxígeno

El porcentaje de saturación de oxígeno en las aguas fluviales es un índice de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua en comparación con la cantidad máxima que puede albergar a una temperatura y presión determinadas. Un río que presenta una saturación de oxígeno del 100 % implica que el agua posee la mayor cantidad de oxígeno que puede disolver a dicha temperatura y presión. Los grados de saturación pueden fluctuar, y frecuentemente se emplean medidas porcentuales para valorar la calidad del agua (Calvo, 2019).

2.2.8.6. Alcalinidad total

La alcalinidad es la capacidad que tiene el agua para contrarrestar o neutralizar los ácidos detectados en una muestra.

El bicarbonato (HCO_3^-) es la forma química que más contribuye a la alcalinidad en la mayoría de las aguas naturales. En menor medida, también participan el carbonato (CO_3^{2-}) y, ocasionalmente, el hidróxido (OH^-), especialmente en aguas con pH elevado. La alcalinidad adquiere especial importancia en situaciones como la alta actividad fotosintética de algas y cianobacterias, donde se consume CO_2 y se altera el equilibrio ácido-base; así como también por las descargas industriales, que pueden modificar la composición iónica del agua (Roldán & Ramírez, 2022).

La alcalinidad es el principal sistema que regula y estabiliza el pH de los ecosistemas de agua dulce, y además cumple un papel clave en la capacidad biológica que actúa como depósito de CO_2 para el proceso fotosintético. En consecuencia, valores altos de alcalinidad suelen estar relacionados con ecosistemas acuáticos de alta productividad primaria (Udelar, 2018).

2.2.8.7. Dureza total

La dureza total del agua hace referencia a la concentración conjunta de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) presentes, medida en miligramos por litro (mg/L) y expresada

como carbonato de calcio ($CaCO_3$). El agua se vuelve dura cuando estos minerales se disuelven en ella, proceso que puede intensificarse con la presencia de otros elementos como el hierro. El grado de dureza del agua está directamente relacionado con la presencia de calcio y magnesio disueltos (Baird, Eaton, & Rice, 2017).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), la tabla 3 presenta la clasificación de la dureza del agua medida en mg/L de $CaCO_3$.

Tabla 3

Clasificación del agua según su dureza

Dureza (mg/L $CaCO_3$)	Tipos de agua
0 - 60	Blanda
61 - 120	Moderadamente dura
121 - 180	Dura
>180	Muy dura

Nota. Tomado de Desarrollo de reglamentos y normas de calidad de agua de consumo humano (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2022).

2.2.8.8. Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno (pH) es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución; se mide en una escala que va de 0 a 14 y se utiliza para medir el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia como por ejemplo el agua. Un valor de pH menor a 7 indica una sustancia ácida, un valor mayor a 7 indica una sustancia alcalina o básica, y un valor de pH 7 representa una condición neutra, como la del agua pura.

Las aguas naturales pueden presentar un pH ácido debido a la disolución de gases como el dióxido de azufre (SO_2) y el dióxido de carbono (CO_2), que forman ácidos al reaccionar con el agua. En cambio, las aguas contaminadas con vertidos de aguas residuales o sustancias industriales generalmente presentan un pH bastante bajo (ácido), lo que puede causar un daño significativo a los ecosistemas acuáticos (Hu, 2022)

2.2.8.9. Fósforo total

Está formado por fósforo en formas disueltas y particuladas. Las formas particuladas orgánicas corresponden a las estructuras celulares de organismos vivos o muertos, así como a la materia fecal, mientras que la fracción particulada inorgánica comprende fosfatos presentes en los suelos.

Un ecosistema es oligotrófico con baja productividad cuando tiene poca concentración de fosfato, mesotrófico con productividad moderada y eutrófico con alta productividad cuando la concentración de fosfato es alta; estos umbrales varían según la región. (Udelar, 2018).

La contaminación ambiental causada por el fósforo, especialmente en cuerpos de agua, es considerada una de las principales causas del fenómeno de eutrofización, que se refiere a una nutrición excesiva del ecosistema acuático debido a una sobreabundancia de nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno.

La proliferación de biomasa vegetal incrementa la producción de materia orgánica, cuya descomposición por microorganismos heterótrofos consume grandes cantidades de oxígeno disuelto, provocando así su disminución crítica en el agua y afectando negativamente a la fauna acuática (NEMERY, 2025)

2.2.8.10. Conductividad

La conductividad indica qué tan bien una solución puede transportar corriente eléctrica, y esta propiedad incrementa al aumentar la concentración de iones como sodio, cloro, calcio, nitratos, entre otros; La conductividad se usa para estimar la mineralización total del agua, se mide en micro siemens/cm^{-2}. De manera similar, la contaminación en los sistemas de aguas superficiales generalmente se relaciona con un incremento en los niveles de conductividad (Udelar, 2018).

La conductividad del agua depende principalmente de su salinidad, la temperatura y la presencia de contaminantes. A mayor concentración de sales disueltas, como en el agua marina, mayor es su capacidad para conducir corriente eléctrica. El

incremento de la temperatura también eleva la conductividad, aproximadamente entre un 2 % y un 3 % por cada grado Celsius. Además, la presencia de sustancias químicas o residuos industriales, especialmente ácidos y bases fuertes, puede aumentar significativamente este parámetro. Por ello, la conductividad eléctrica es un indicador útil para evaluar la composición iónica y la calidad del agua (Vitaqua, 2022).

2.2.8.11. Sólidos suspendidos totales

Los sólidos en suspensión son partículas sólidas mayores a 0,45 micrómetros en el agua, incluyendo materia inorgánica y en parte por orgánica. Incrementos en estas dos variables se correlacionan con un aumento en la turbidez del agua e indican un incremento de aportes minerales u orgánicos provenientes tanto de la erosión como de efluentes (Udelar, 2018).

Este fenómeno puede reducir significativamente la concentración de oxígeno disuelto, lo que provoca la muerte de organismos acuáticos, las aguas residuales industriales constituyen una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales, debido tanto a su elevado volumen como a la complejidad de los contaminantes que contienen (Rocker, 2023).

2.2.9. Índices de contaminación (ICO’s)

Los Índices de Contaminación (ICO’s) fueron planteados inicialmente por Ramírez et al. (1997) y posteriormente ampliados por Ramírez, Restrepo y Cardeñosa (1999) en Colombia. Estos índices se desarrollaron a partir de un análisis multivariado de datos físicos, químicos y microbiológicos, es decir de parámetros relacionados con la calidad del agua, los cuales fueron recopilados en diversos estudios realizados en ecosistemas acuáticos epicontinentales, así como en zonas afectadas por vertimientos de industrias petroleras en el país. El objetivo principal de los ICO’s es ofrecer una evaluación integrada y sistemática de la calidad del agua en base a la determinación del grado de contaminación de ella misma.

“Estos índices se crearon teniendo en cuenta los posibles usos del agua y basándose en las leyes de diferentes países, así como en las concentraciones de diversos parámetros”. Al combinar parámetros físicos, químicos y microbiológicos que representan la misma condición ambiental, estos índices permiten determinar el grado de contaminación (Ramos, 2021).

En la tabla 4 se muestran los índices de contaminación que han sido determinados a partir de una serie de ecuaciones y lecturas directas.

En el caso de los ICO’s (como el ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTRO e ICOpH), estos integran las propiedades más fundamentales del agua, por lo cual se determinan regularmente en cualquier estudio limnológico o ambiental. Por otra parte, el ICOTEM permite medir el impacto causado por la temperatura de los efluentes, tomando como referencia la diferencia entre esta y la temperatura del cuerpo receptor de agua. En cuanto a los índices de contaminación por hidrocarburos, su uso es poco frecuente debido a la falta de criterios adecuados para interpretar los resultados.

Tabla 4

Índices de contaminación ICO’s

ICO’s	Indicador	Formulación
ICOMI	Conductividad, dureza y alcalinidad	Ecuación
ICOMO	DBO_5, % saturación oxígeno y coliformes totales	Ecuación
ICOSUS	Sólidos suspendidos totales	Ecuación
ICOTRO	Fósforo total	Lectura directa
ICO pH	pH	Ecuación
ICOTEM	Temperatura (vertimiento y receptor)	Ecuación
ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS	Hidrocarburos aromáticos, alifáticos en peces y sedimentos (ICOARO, ICOALRE, ICOALNORES-P ICOALNORES-S, OCOALTO)	Ecuaciones

Nota. Fuente: Ramírez et al. (1999).

Ramírez, Restrepo y Viña (1997), desarrollaron cuatro índices para medir la contaminación, mediante los cuales es posible evaluar aspectos clave como la contaminación por la presencia de materia orgánica(ICOMO; el cual utiliza para su

determinación el DBO_5, coliformes totales y % de saturación de oxígeno), contaminación por mineralización(ICOMI, utiliza los valores de conductividad, dureza y alcalinidad), contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS, utiliza el valor de los sólidos suspendidos totales) y la contaminación por el nivel trófico del cuerpo de agua (ICOTRO, utiliza el valor de fósforo total); asimismo Ramírez, Restrepo y Cardeñosa (1999) formularon el ICOpH (el cual se determina con el valor del pH del cuerpo de agua).

Los índices de contaminación (ICO's) se constituyen como instrumentos clave para evaluar y describir la calidad de los recursos hídricos continentales (ríos, lagos, lagunas y embalses). Estos índices permiten sintetizar la información proveniente de múltiples parámetros fisicoquímicos y biológicos en un valor único o en clasificaciones cualitativas a través de fórmulas matemáticas simples (Montero & Ramírez, 2018), lo que facilita la interpretación del grado de contaminación del agua; cada uno de estos índices utiliza una escala del 0 al 1 para representar el grado de contaminación, donde 0 indica una contaminación muy baja y 1 indica una contaminación muy alta (Restrepo, 2015). Además, se organizan según grados, permitiendo describir cualitativamente el nivel de contaminación del agua y facilita una evaluación más clara y sencilla de la masa de agua.

Con el propósito de calcular los ICO's (ICOMO, ICOMI, ICOSUS, ICOTRO, ICOpH), cada uno utiliza un rango de valores que va desde 0,0 hasta 1,0, tal como se muestra en la tabla 5, lo cual permitió determinar el grado de contaminación.

Tabla 5

Rangos índice de contaminación

Valor de los ICO's	Caracterización	Clasificación de la contaminación	Leyenda
0,8 – 1,0	Áreas muy contaminadas	Contaminación muy alta	
0,6 – 0,8	Incidencia importante de contaminación	Contaminación alta	
0,4 – 0,6	Notable actividad antrópica	Contaminación media	
0,2 – 0,4	Con leve incidencia antrópica	Contaminación baja	
0,0 – 0,2	Aguas puras y quizá con aportes biogénicos	Contaminación ninguna	

Nota. Caracterización, clasificación y leyenda de los índices de contaminación, adaptadas de Ramírez y Viña (1997), según Montero y Ramírez (2018).

2.2.9.1. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Para determinarlo se utilizan los coliformes totales, el porcentaje de saturación de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5). En una escala del 0 al 1, un aumento del número más bajo indica que la masa de agua está más contaminada (Montero & Ramírez, 2018)

Para calcular el índice de contaminación asociada a la presencia de materia orgánica (ICOMO) se utilizó la ecuación 1; este ICO se mide dentro de un rango comprendido entre 0 y 1, donde valores próximos a cero señalan una contaminación muy baja o ninguna por materia orgánica, mientras que valores próximos a uno reflejan una contaminación elevada o muy alta.

- **Cálculo del Índice de contaminación ICOMO**

$$\boldsymbol{ICOMO = \frac{1}{3}(I_{DBO_5} + I_{Coliformes\ totales} + I_{Oxigeno\ \%})} \text{..... (Ecuación 1)}$$

Donde:

- El índice de demanda bioquímica de oxígeno se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$I_{DBO_5} = -0{,}05 + 0{,}70\ Log_{10} \times DBO\ (mg/L)$$

  Condición:

  Cuando la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) es mayor a 30 mg/L, el índice($I_{DBO_5} = 1$)

  En cambio, si la DBO_5 es menor a 2 mg/L, el índice($I_{DBO_5} = 0$)

- El índice de coliformes totales se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$I_{Col.\ Tot.} = -1{,}44 + 0{,}56\ Log_{10} \times Col.tot.(NMP/100\ mL)$$

  Condición:

Coliformes totales mayores a 20 000 $NMP/100\,mL$, tienen $I_{Col.\ Tot.} = 1$

Coliformes totales menores a 500 $NMP/100\,mL$, tienen $I_{Col.\ Tot.} = 0$

- El índice de porcentaje de saturación (%) se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$I_{oxigeno\,\%} = 1 - 0{,}01 \times oxigeno\%$$

Condición:

Oxígenos (%) mayores a 100% tienen $I_{oxigeno\,\%} = 0$

Nota. Fuente: (Restrepo, Ramírez, & Cardeñosa, 1999)

2.2.9.2. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Este índice combina tres parámetros del agua: la conductividad, que mide los sólidos disueltos; la dureza, determinada por la concentración de calcio y magnesio; y la alcalinidad, que refleja el contenido de carbonatos y bicarbonato (Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997)

El índice ICOMI varía entre 0 y 1, cuando los valores se acercan a cero, la contaminación por mineralización es casi inexistente; por el contrario, valores cercanos a uno indican que existe una contaminación muy preocupante (Restrepo, Ramírez, & Cardeñosa, 1999)

Para calcular el ICO (ICOMI) se utilizó la ecuación 2; este índice se encuentra en un rango de 0 a 1, donde valores cercanos a cero indican una contaminación muy baja por mineralización, mientras que valores próximos a uno reflejan una contaminación alta.

❖ **Cálculo del Índice de contaminación ICOMI**

$$\boldsymbol{ICOMI = \frac{1}{3}(I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})} \text{..... (Ecuación 2)}$$

Donde:

- El índice de conductividad se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$Log_{10}\, I_{Conductividad} = -3{,}26 + 1{,}34\, Log_{10} \times conductividad\ (\mu S/cm)$$

Condición:

Conductividades > a 270 µS/cm, entonces ($I_{Conductividad} = 1$)

- El índice de dureza se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$Log_{10}\, I_{Dureza} = -9{,}09 + 4{,}40\, Log_{10} \times dureza\ (mg/L)$$

Condición:

Valores de dureza que exceden los 110 mg/L, tienen un ($I_{Dureza} = 1$)

Valores de dureza inferiores a 30 mg/L, tienen un ($I_{Dureza} = 0$)

- El índice de alcalinidad se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$I_{Alcalinidad} = -0{,}25 + 0{,}005 \times\ alcalinidad\ (mg/L)$$

Condición:

Cuando la alcalinidad supera los 250 mg/L, el índice ($I_{Alcalinidad} = 1$)

Por otro lado, si la alcalinidad es menor a 50 mg/L, el índice ($I_{Alcalinidad} = 0$)

Nota. Fuente: (Restrepo, Ramírez, & Cardeñosa, 1999)

2.2.9.3. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

Este índice mide la concentración de sólidos en suspensión, que son partículas sólidas, tanto orgánicas como inorgánicas, que permanecen dispersas dentro del agua (Cañas, 2010)

Para determinar el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) se utilizó la ecuación 3; este índice varía entre 0 y 1, donde valores próximos a cero indican una contaminación muy baja por sólidos suspendidos, mientras que valores cercanos a uno reflejan una contaminación alta.

❖ **Cálculo del Índice de contaminación ICOSUS**

$$\boldsymbol{ICOSUS = -0,02 + 0,003\ Sólidos\ suspendidos\ (mg/L)} \text{..... (Ecuación 3)}$$

Donde:

SST= Resultado del parámetro solidos suspendidos.

Condición:

Sólidos suspendidos menores a 340 mg/L , utilizamos la ecuación (3)

Sólidos suspendidos mayores a 340 mg/L , tienen $ICOSUS = 1$

Sólidos suspendidos menores a 10 mg/L , tienen $ICOSUS = 0$

Nota. Fuente: (Restrepo, Ramírez, & Cardeñosa, 1999).

2.2.9.4. Índice de contaminación trópica (ICOTRO)

La determinación de este ICO se basa en la concentración de fósforo total (mg/L). Tanto el fósforo como el nitrógeno son nutrientes indispensables para el crecimiento y desarrollo de la vida acuática, pero un exceso en el agua puede provocar eutrofización, lo que es perjudicial para la vida. “Entre los numerosos compuestos químicos que componen el fósforo total se encuentran los ortofosfatos, polifosfatos y el fósforo orgánico” (Del Rio, 2018).

Para determinar el índice de contaminación trófica – ICOTRO, se realizó por medida directa de la cantidad de fósforo total y se empleó la tabla 4 para su interpretación.

La concentración de fósforo total es la base del ICOTRO. La concentración de fósforo total crea inmediatamente una categoría distinta, a diferencia de otros índices que asignan un valor concreto entre 0 y 1.

- **Cálculo del Índice de contaminación ICOTRO**

Condición:

La medición se efectúa convirtiendo todos los compuestos en ortofosfatos, los cuales se cuantifican a través de un análisis químico (ver tabla 6)

Tabla 6

Categoría de contaminación trófica

Categoría	Concentración de fosforo total
Oligotrófico	$< 0{,}01\ (mg/L)$
Mesotrófico	$0{,}01 - 0{,}02\ (m\,g/L)$
Eutrófico	$0{,}02 - 1\ (mg/L)$
Hipereutrófico	$> 1\ (mg/L)$

Nota. Fuente: Ramírez, A. y Restrepo, R., Viña, G. (1997).

2.2.9.5. Índice de contaminación por pH (ICOpH)

Las aguas naturales pueden presentar un pH ácido como resultado del ácido sulfúrico proveniente de ciertos minerales, sustancias húmicas disueltas originadas en la materia orgánica del suelo, o el dióxido de carbono (CO_2) disuelto tanto del ambiente como de organismos vivos (Chicojay, 2024)

Para calcular el índice de contaminación por pH (ICOpH), se tomó la medida directa del pH y se utilizó la Ecuación 4.

- Cálculo del Índice de contaminación ICOpH

$$\boldsymbol{ICOpH = \frac{e^{-31{,}08+3{,}45pH}}{1+e^{-31{,}08+3{,}45pH}}} \text{..... } \textit{(Ecuación 4)}$$

Condición:

Si el pH es menor que 7, se ajusta utilizando la fórmula: pH = 14 – pH registrado. En caso de que el pH sea mayor a 7, se utiliza directamente el valor registrado para calcular el índice ICOpH.

Nota. Fuente: (Restrepo, Ramírez, & Cardeñosa, 1999)

2.3. Bases conceptuales

a) Agua: El agua es un líquido transparente, incoloro, inodoro e insípido cuando se encuentra en estado puro. Está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, por lo que su fórmula química es H_2O. Además, es uno de los

componentes más abundantes de la superficie terrestre y forma parte esencial de todos los seres vivos (RAE, 2025).

b) **Aguas superficiales continentales:** Se denominan así a las aguas que permanecen quietas o en movimiento, que se encuentran en la superficie terrestre. Dentro de estas se incluyen las aguas lóticas o corrientes, que fluyen constantemente en una misma dirección, como es el caso de ríos, manantiales y riachuelos (Zarza, 2024).

c) **Contaminación:** Se refiere a la presencia de una o más sustancias en el ambiente que resultan perjudiciales o peligrosas para la vida, el bienestar humano, la flora y la fauna, o que deterioran la calidad del entorno al provocar alteraciones negativas en los ecosistemas (Udelar, 2018).

d) **Coliformes termotolerantes**

La presencia de este parámetro en los cuerpos de agua superficial se debe a la contaminación fecal, cuyo origen puede deberse a los vertidos domésticos sin tratamiento a los cuerpos receptores (ríos, quebradas) y otros de los factores, puede ser por la inadecuada disposición de residuos sólidos que se depositan en los cauces de los ríos (ANA, 2018).

e) **DBCA:**

Conocido como diseño de doble vía, se aplica cuando el material es heterogéneo. las unidades experimentales homogéneas se agrupan formando grupos homogéneos llamados bloques. DBCA significa "Diseño de Bloques Completamente al Azar". Es un diseño experimental utilizado para minimizar el error experimental al dividir las unidades experimentales en grupos homogéneos llamados bloques, y luego asignar aleatoriamente los tratamientos dentro de cada bloque (Maxwell & Delaney, 2018).

f) **LSD:** En estadística, LSD (Least Significant Difference) o Diferencia Mínima Significativa, es una prueba que se utiliza para comparar las medias de dos o más grupos después de que una prueba ANOVA (Análisis de Variancia) haya revelado una diferencia significativa entre ellas. En esencia, la LSD ayuda a determinar qué

pares de medias son estadísticamente diferentes entre sí. (Maxwell & Delaney, 2018).

g) **Estación de muestreo o estación hidrométrica:** Ubicación geográfica precisa dentro de un cuerpo de agua donde se efectúa la recolección de muestras con el propósito de evaluar la calidad del agua (ANA, 2018).

h) **Fósforo:** El fósforo es vital para que los organismos almacenen energía, pero en ecosistemas acuáticos, bacterias y algas necesitan más fósforo del que está disponible (Udelar, 2018).

i) **Monitoreo:** Es un proceso de evaluación sistemática de la presencia y concentración de agentes contaminantes físicos, químicos, biológicos o mixtos en un cuerpo de agua (ANA, 2018).

j) **Muestra:** Es una o más porciones de un volumen de agua provenientes de cuerpos receptores, vertimientos, efluentes o sistemas de distribución pública, entre otros con el fin de analizar sus propiedades microbiologías, químicas y físicas (Alcora, 2022).

k) **Parámetros:** Se trata de los atributos físicos, químicos y biológicos relacionados con la calidad del agua que pueden ser cuantificados mediante mediciones (ANA, 2016).

l) **Parámetros fisicoquímicos:** Las características físicas y químicas del agua la convierten en un excelente disolvente tanto para sustancias orgánicas como inorgánicas, independientemente de si son polares o apolares. Por ello, el agua tiene una gran variedad de compuestos sólidos, líquidos y gaseosos que alteran sus características (Mahe & Salihu, 2024).

m) **Parámetros microbiológicos:** Los parámetros microbiológicos evalúan la presencia de organismos patógenos en el agua, que suelen ingresar por excretas y residuos, siendo clave para detectar contaminación o riesgos potenciales (Oliden & Villegas, 2019).

n) **Río:** Un río es una corriente natural de agua que fluye de manera continua o intermitente por la superficie terrestre a través de un cauce. Sus aguas pueden

desembocar en otro río en cuyo caso se denomina afluente, en un lago o directamente en el mar (Sarasola, 2023).

2.4. Marco legal

2.4.1. Estándares de calidad ambiental para agua (ECA)

La Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente en el Perú, establece en su artículo 90 la necesidad de una gestión integrada del recurso hídrico, con el fin de prevenir impactos negativos en la calidad ambiental. Esta misma norma también contempla los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, fueron establecidos por el Estado peruano a través del Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM y modificados posteriormente por el Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM. Posteriormente se realizó la modificatoria con el D.S. 004 – 2017 MINAM, el cual define a los estándares en la distribución en 4 categorías según el uso al cuál se destine.

2.4.2. Ley de recursos hídricos, D.L. Nº 29338, marzo de 2009

La Ley Nº 29338, denominada “Ley de Recursos Hídricos” del Perú, fue promulgada en marzo del 2009 y establece el marco legal para la gestión y uso del agua en el Perú. Esta normativa establece las bases para que tanto el Estado como los particulares participen activamente en la administración sostenible de los recursos hídricos, considerando su valor estratégico, social, ambiental y económico. La ley establece la creación del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, liderado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), con el propósito de coordinar la gestión del recurso hídrico en todo el territorio nacional.

El Artículo I de la Ley de Recursos Hídricos Nº 29338, promulgada en 2009, dispone que esta norma regula el uso y la gestión de los recursos hídricos, abarcando aguas superficiales, subterráneas y continentales, así como los bienes relacionados. Asimismo, su alcance se extiende, cuando sea pertinente, a las aguas marinas y atmosféricas.

2.4.3. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, D.S. N° 004-2017-MINAM.

El Decreto Supremo Nº 004-2017-MINAM, publicado el 7 de junio de 2017, establece los niveles permitidos de concentración de elementos, sustancias y parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua cuando actúa como cuerpo receptor y constituyen un componente fundamental de los ecosistemas acuáticos y garantizan que la calidad del agua debe mantenerse en niveles que no representen un riesgo para la salud humana ni para el medio ambiente. Esta normativa incorpora y actualiza las disposiciones de los Decretos Supremos N° 002-2008-MINAM, N° 023-2009-MINAM y N° 015-2015-MINAM, que aprobaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua. Además, realiza modificaciones y elimina ciertos valores, parámetros y categorías de los ECA anteriores, mientras mantiene otros aspectos de dichos decretos (MINAM, 2017).

Los cuales se mencionan a continuación:

Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) **Subcategoría A:** Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.
b) **Subcategoría B:** Aguas superficiales destinadas para recreación.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

a) **Subcategoría C1:** Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras
b) **Subcategoría C2:** Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras
c) **Subcategoría C3:** Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras

d) **Subcategoría C4:** Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

a) **Subcategoría D1:** Riego de vegetales
b) **Subcategoría D2:** Bebida de animales

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

"Son cuerpos de agua naturales ubicados en la superficie terrestre Que constituyen ecosistemas vulnerables, ubicados en zonas naturales protegidas o reservas ecológicas. Su relevancia ecológica, biodiversidad y funciones ambientales esenciales requieren medidas de conservación y manejo sostenible" (MINAM, 2017)

a) **Subcategoría E1:** Lagunas y lagos
b) **Subcategoría E2:** Ríos
c) **Subcategoría E3:** Ecosistemas costeros y marinos

Para esta investigación, la comparación de los parámetros de estudio se realizó utilizando los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos en el D.S. Nº 004-2017-MINAM para la Categoría 4 (subcategoría E2: Ríos), debido a que los límites permisibles en esta categoría son más exigentes que los de la Categoría 3. Además, el análisis bajo estos estándares permitió cumplir de manera explícita con el objetivo fundamental de esta tesis. La conservación del ambiente acuático es fundamental para mantener el equilibrio ecológico del planeta y garantizar el acceso responsable y sostenible al agua, a la biodiversidad y a los recursos naturales, como ejemplo claro tenemos al río Huatatas.

A continuación, en la tabla 7 se presenta la información correspondiente a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, establecidos en el D.S. Nº 004-2017-MINAM, utilizada para evaluar la calidad del agua en la categoría 4.

Tabla 7

ECA para Agua D.S. N° 004-2017-MINAM Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marines	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS – QUÍMICOS						
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20(a)	20(a)	20(a)	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1000	1000	1000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5)	mg/L	5	10	10	15	10
Fosforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO_3^-) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH_3)	mg/L	-1	-1	-1	-2	-2
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8-8,5	6,8-8,5
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	△ 3	△ 3	△ 3	△ 2	△ 2
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1000	2000	2000	1000	2000

Nota. a) El valor es 100 para aguas claras; en aquellas que presentan una coloración natural, no debe observarse un cambio anormal. (b) Los valores se determinan después de realizar una filtración simple. (c) Si las técnicas analíticas expresan la concentración en unidades de nitrato-nitrógeno (NO_3-N), el resultado debe multiplicarse por 4,43 para convertirlo a unidades de nitrato (NO_3^-). Δ 3 indica una variación de 3 °C respecto al promedio mensual multianual del área evaluada. El símbolo ** señala que el parámetro no es aplicable a esta subcategoría. Salvo indicación contraria, los valores de los parámetros corresponden a concentraciones totales. (MINAM, 2017).

III. METODOLOGÍA

Para esta investigación se establecieron cuatro estaciones de muestreo en una longitud de 7,405 km en el cauce del río Huatatas. La evaluación se realizó entre los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2024, correspondiente a la temporada de estiaje. En cada estación se analizaron parámetros microbiológicos, químicos y físicos, con el propósito de conocer su comportamiento espacial y temporal y, a partir de ello, determinar el grado de contaminación del agua mediante la metodología de los Índices de Contaminación (ICO's).

El área de estudio se ubicó entre los distritos de San Juan Bautista, Tambillo y Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, pertenecientes a la provincia de Huamanga. Para las mediciones in situ de los parámetros físico-químicos, se utilizó un equipo multiparamétrico Hach HQ40d para determinar el potencial de hidrógeno (pH) y la conductividad eléctrica (µS/cm), con respecto al oxígeno disuelto (mg/L), la temperatura y la presión atmosférica se registraron mediante un equipo multiparamétrico ODEON, marca FONSEL. Los análisis de alcalinidad (mg/L), dureza total (mg/L) y sólidos suspendidos totales (mg/L) se realizaron en el Laboratorio de Química Analítica y Análisis Instrumental de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH). En cuanto a los coliformes totales (NMP/100 mL), coliformes termotolerantes (NMP/100 mL), demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) y fósforo total (mg/L), las muestras fueron analizadas en el laboratorio SGS del Perú, acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

3.1. Tipo y nivel de investigación

La presente investigación fue de tipo básica, debido a que estuvo orientada a generar conocimientos teóricos que puedan servir como base referencial para futuras investigaciones relacionadas con esta línea temática. Asimismo, se desarrolló bajo un nivel descriptivo y un enfoque cuantitativo, debido a que estos permitieron caracterizar el estado de las aguas del río Huatatas a partir de la recopilación, medición y análisis de datos objetivos (Arias & Covinos, 2021). La elección del enfoque cuantitativo respondió a la necesidad de trabajar con información numérica, medible y cuantificable obtenida mediante el muestreo de las aguas del río Huatatas. Esto permitió procesar los resultados mediante pruebas estadísticas y, posteriormente, determinar los Índices de Contaminación del Agua (ICO's). De esta manera, la metodología empleada permitió obtener resultados objetivos y comparables sobre el grado de contaminación del río Huatatas, manteniendo coherencia entre el propósito descriptivo del estudio, los datos obtenidos y el análisis realizado.

3.2. Métodos

Esta investigación se desarrolló mediante los métodos deductivo, analítico y estadístico. El método deductivo permitió contrastar los resultados obtenidos con los fundamentos teóricos, los Índices de Contaminación (ICO's) y los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Mediante el método analítico se evaluaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, cuyos resultados permitieron determinar los índices de contaminación por materia orgánica (ICOMO), mineralización (ICOMI), sólidos suspendidos (ICOSUS), fósforo total (ICOTRO) y pH (ICOpH).

Por su parte, el método estadístico permitió organizar e interpretar los datos mediante estadística descriptiva, análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Fisher LSD, con un nivel de significancia de 0,05. Asimismo, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson para establecer la dirección y la intensidad de las relaciones lineales entre los parámetros evaluados y los índices de contaminación. La significancia

estadística de las correlaciones se determinó considerando un nivel de α = 0,05, interpretándose como significativas aquellas relaciones cuyo valor de p fue menor o igual a 0,05.

En conjunto, estos métodos permitieron examinar las variaciones espaciales y temporales de los parámetros evaluados, establecer sus relaciones estadísticas y determinar las condiciones de contaminación del agua del río Huatatas durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre, noviembre y diciembre de 2024.

3.3. Diseño de investigación

La investigación presentó un diseño no experimental, ya que se observaron y evaluaron los fenómenos en sus condiciones naturales, sin intervenir ni manipular deliberadamente las variables estudiadas. Asimismo, presentó un enfoque longitudinal, puesto que las evaluaciones se realizaron en diferentes puntos del río Huatatas y en fechas previamente establecidas. Para analizar el comportamiento de los parámetros de calidad del agua y de los Índices de Contaminación (ICO's), se consideraron cuatro estaciones de muestreo y cuatro fechas de evaluación. Esta distribución permitió examinar los cambios registrados tanto en el espacio como durante el periodo de estudio, facilitando la comparación de los resultados entre las estaciones y fechas de muestreo. Este diseño permitió analizar las variaciones temporales y espaciales de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, así como de los Índices de Contaminación (ICO's).

3.4. Operacionalización de variables

En la tabla 8 se presenta la operacionalización de las variables empleadas en la presente investigación.

Tabla 8

Operacionalización de variables

Variable de interés	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Método
Grado de contaminación	Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)	DBO_5	mg/L	Respirométrico/manométrico
		Coliformes totales	NMP/100 ml	Tubos múltiples
		% de saturación de oxígeno	%	Electrométrico
	Índice de Contaminación por mineralización (ICOMI)	Conductividad	µS/cm	Electrométrico
		Dureza total	mg/L	Titulación
		Alcalinidad	mg/L	Titulación
	Índice de contaminación por solidos suspendidos (ICOSUS)	Sólidos suspendidos totales	mg/L	Gravimétrico
	Índice de contaminación por trofia (ICOTRO)	Fósforo total	mg/L	Espectrofotométrico
	Índice de contaminación por pH (ICOpH)	pH	Unidad	Electrométrico

3.5. Población de estudio

La población de estudio estuvo constituida por las aguas del río Huatatas, en el tramo comprendido desde el inicio de su curso en la cuenca alta, ubicado en las coordenadas UTM 590 809,00 m E y 8 533 061,00 m N, hasta su confluencia con el río Alameda, en las coordenadas UTM 588 037,71 m E y 8 547 368,95 m N, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho. En este tramo se identificaron puntos críticos de posible contaminación puntual y difusa que comprende una longitud aproximada de 7,405 km, los cuales abarcan zonas de cultivo, áreas de pastoreo y actividades antrópicas desarrolladas por las poblaciones aledañas.

3.6. Muestra

La muestra estuvo constituida por las aguas superficiales recolectadas en cuatro estaciones de muestreo establecidas a lo largo del tramo de estudio del río Huatatas. La selección de estos puntos permitió representar las condiciones de calidad del agua en los diferentes tramos del río y evaluar sus variaciones espacio-temporal, durante el periodo de evaluación (estiaje), comprendido entre octubre y diciembre de 2024. Las muestras fueron recolectadas en cada estación de muestreo, distribuidas estratégicamente a lo largo de la zona crítica del río Huatatas, donde se identificó la posible presencia de fuentes de contaminación. La ubicación de dichas estaciones se detalla a continuación, en la tabla 9.

Las muestras de agua fueron obtenidas siguiendo las recomendaciones establecidas en los lineamientos del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado mediante Resolución de Jefatura N° 010-2016-ANA.

Tabla 9

Ubicación (Coordenadas UTM) de las estaciones de muestreo del río Huatatas

Código	Norte(m)	Este(m)	Altura (m.s.n.m)
RHuat-01	8540158	586331	2738
RHuat-02	8542234	587470	2674
RHuat-03	8543563	587628	2634
RHuat-04	8546565	587787	2563

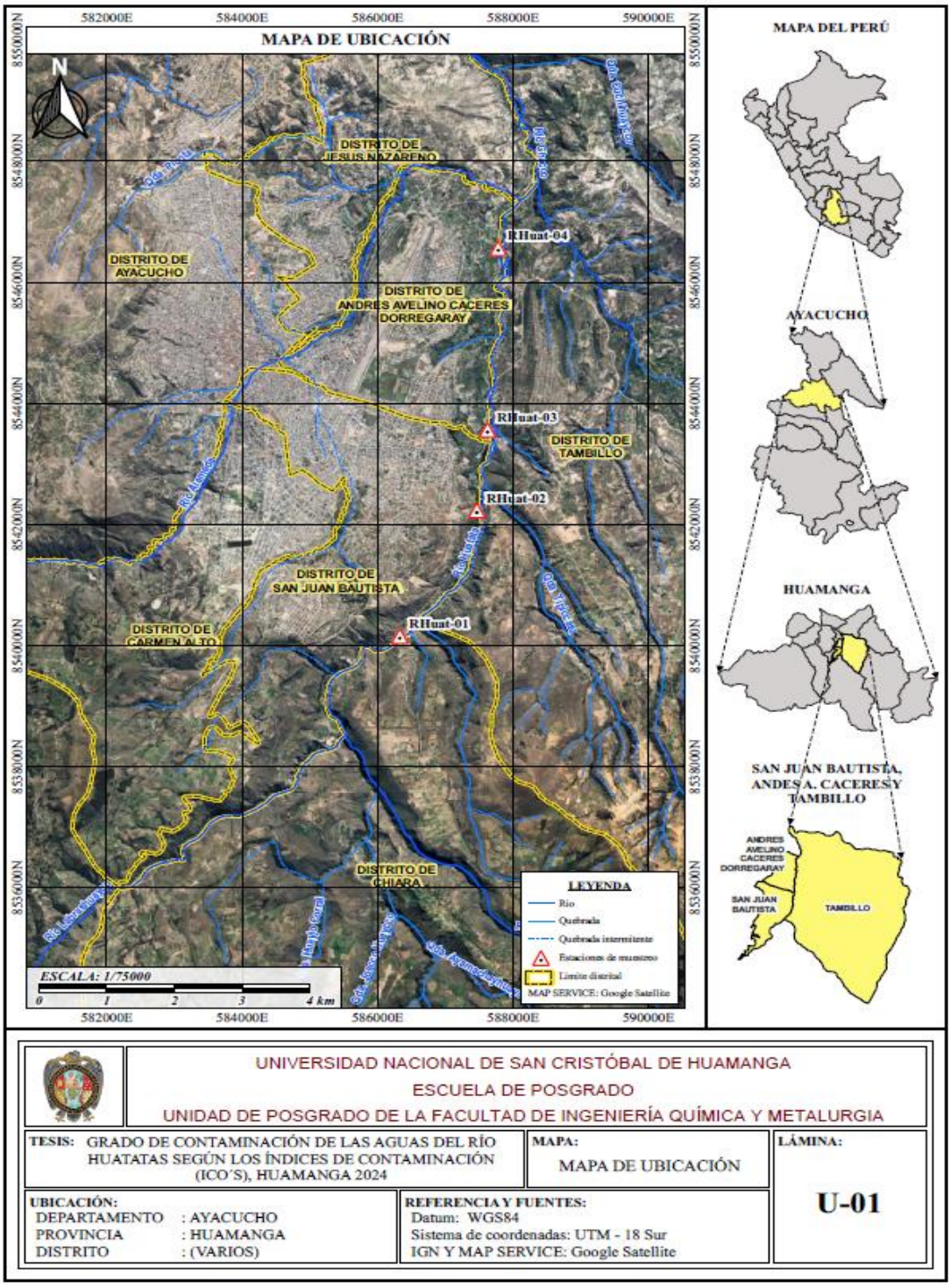
- **Estación de muestreo RHuat-01:** Se encuentra a 150 metros aguas arriba del puente denominado Pucará, ubicado entre los distritos de Tambillo y San Juan Bautista. Esta área, se caracteriza por una notable presencia de fauna y flora silvestre, así como por una abundante población de peces pequeños y renacuajos. Además, en sus alrededores se observan áreas dedicadas a cultivos agrícolas, lo que resalta su valor ecológico y productivo.

- **Estación de muestreo RHuat-02:** La zona se encuentra ubicada a 200 metros aguas abajo del puente Santa Rosa, en el distrito de San Juan Bautista. En esta área, se observó una mayor presencia de cultivos de frutales, legumbres y verduras. Asimismo, debido a la accesibilidad del lugar, se identificaron diversas actividades antrópicas, tales como recreación, lavado de vehículos y lavado de ropa, lo que podría tener implicancias ambientales sobre la calidad de las aguas del río Huatatas.
- **Estación de muestreo RHuat-03:** Se identificó el punto de muestreo a una distancia de 150 metros aguas abajo del puente Huatatas, en el distrito de San Juan Bautista. Asimismo, se constató la presencia de un vivero de plantas ornamentales y frutales perteneciente a la Municipalidad Provincial de Huamanga, ubicado aproximadamente a 937 metros aguas arriba del punto de muestreo y a una distancia de 120 metros del cauce del río. Cabe señalar que, debido a la accesibilidad del área, se evidencia una constante actividad antrópica en la zona.
- **Estación de muestreo RHuat-04:** El punto de muestreo se encuentra ubicado a 750 metros aguas arriba de la confluencia del río Huatatas con el río Alameda, dentro del distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray. Durante la inspección en campo, se observó la presencia de una cantera informal dedicada a la extracción de agregado, situada aproximadamente a 150 metros aguas arriba del punto de muestreo. Asimismo, se identificó la existencia de recreos campestres en los límites del área de estudio delimitada. Estas actividades podrían afectar la calidad ambiental del cuerpo de agua y deben ser tomadas en cuenta al analizar los posibles impactos.

A continuación, en la figura 7, se muestra la delimitación del área de estudio correspondiente al tramo del río Huatatas.

Figura 7

Delimitación del área de investigación río Huatatas



Nota. Fuente: Google Earth (2025)

Figura 8

Estaciones de muestreo de las aguas del río Huatatas



Nota. La figura muestra las cuatro estaciones de muestreo del río Huatatas seleccionadas para el estudio.

3.7. Tipo de muestreo

El tipo de muestreo utilizado fue no probabilístico e intencional, debido a que las estaciones de muestreo fueron seleccionadas de manera deliberada, considerando las características del tramo estudiado y la posible presencia de fuentes de contaminación en el río Huatatas.

La selección de las estaciones RHuat-01, RHuat-02, RHuat-03 y RHuat-04 permitió evaluar las condiciones de calidad del agua en diferentes sectores del río y observar sus variaciones en el espacio y a lo largo del periodo de evaluación. Los puntos fueron establecidos teniendo en cuenta criterios técnicos relacionados con la accesibilidad, las características del entorno y la identificación de zonas con posible influencia de actividades humanas.

El muestreo se realizó durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2024, manteniendo las estaciones previamente establecidas para facilitar la comparación de los resultados obtenidos en las diferentes fechas de evaluación. La recolección de las muestras se efectuó siguiendo las recomendaciones establecidas en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado mediante Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.

3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En los apartados siguientes, se presentan las técnicas e instrumentos empleados para la recopilación de información y la obtención de datos utilizados en la presente investigación.

3.8.1. Planificación del monitoreo

La planificación del monitoreo se llevó a cabo conforme a lo establecido en la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA (ver anexo 2.1), que especifica el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales”.

La planificación del monitoreo de la calidad del agua del río Huatatas se realizó tomando como referencia el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado mediante Resolución Jefatural N° 010 -2016-ANA (ver anexo 2.1). Esta etapa permitió organizar las actividades de campo y laboratorio, considerando la selección de los puntos de muestreo, el periodo de evaluación y los procedimientos necesarios para la recolección y manejo de las muestras.

Inicialmente, se realizó el reconocimiento del tramo de estudio, considerando las características del río y de su entorno, así como la posible presencia de actividades que pudieran influir en la calidad del agua. A partir de ello, se establecieron cuatro estaciones de muestreo: RHuat-01, RHuat-02, RHuat-03 y RHuat-04, distribuidas a lo largo del tramo seleccionado.

El monitoreo se programó para los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2024, correspondientes al periodo de estiaje. En cada fecha se realizaron las actividades de campo en las estaciones previamente definidas, procurando mantener las mismas condiciones de muestreo para facilitar la comparación de los resultados.

Antes de cada salida de campo se revisaron los equipos, materiales y recipientes necesarios. También se consideraron las condiciones de limpieza, preservación, rotulado y transporte de las muestras, buscando evitar cualquier alteración desde el momento de su recolección hasta su análisis.

Finalmente, se definieron los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos que serían evaluados. Algunos fueron medidos directamente en campo mediante el método electrométrico, utilizando un equipo multiparámetro, mientras que los demás fueron determinados en laboratorio mediante los procedimientos establecidos para cada análisis.

En la figura 9 se presentan las etapas que comprende el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado mediante la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. Estas

etapas orientan el desarrollo del monitoreo y permiten mantener una adecuada organización durante su ejecución.

Figura 9

Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales



Nota. Fuente: Adaptado de Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016- ANA)

3.8.2. Toma de muestras

Las muestras recolectadas en el río Huatatas correspondieron a un muestreo puntual, realizado en las estaciones previamente establecidas para esta investigación.

Las actividades de limpieza de los equipos, recolección, preservación, transporte y manejo de las muestras antes de su análisis en laboratorio se desarrollaron siguiendo los lineamientos del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA). De esta manera, se buscó conservar las características de las muestras y obtener resultados confiables.

La recolección de muestras se efectuó durante la temporada de estiaje comprendido entre los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2024, cuando el caudal del río Huatatas se mantiene bajo y relativamente constante. Esta condición facilitó el acceso al cuerpo de agua y minimizó el riesgo de contaminación de las muestras por arrastre de sedimentos. Lo descrito líneas arriba se puede visualizar en la figura 10.

Figura 10

Esquema de organización del muestreo de las aguas del río Huatatas durante el periodo de estudio



Nota. Fuente: Elaboración propia.

En cada estación se recolectaron muestras representativas del agua superficial utilizando frascos adecuados para los parámetros que serían analizados. Durante la toma de muestra se evitó el contacto directo con el interior de los recipientes y sus tapas, así como la incorporación de sedimentos u otros elementos externos que pudieran modificar los resultados.

Luego de la recolección, cada muestra fue rotulada e identificada con los datos correspondientes a la estación y fecha de muestreo. Posteriormente, fueron acondicionadas y trasladadas al laboratorio, manteniendo las condiciones necesarias para conservar sus características hasta el momento del análisis.

Así mismo, algunos parámetros fueron medidos directamente en campo por el método electrométrico, utilizando un multiparámetro. Los demás parámetros fueron determinados en laboratorio, siguiendo los procedimientos establecidos para cada análisis de acuerdo a normativas internacionales como APHA (2017).

3.9. Métodos y técnicas de procedimiento de datos

3.9.1. Determinación de coliformes totales

La determinación de coliformes totales fue realizada por el laboratorio SGS del Perú, utilizando el método de tubos múltiples, de acuerdo con lo establecido en el *Standard* Methods for the Examination of Water and Wastewater – “SMEWW-APHA-AWWA-WEF”, Parte 9221B, 24ª edición (2023). Esta metodología corresponde a la Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, específicamente el procedimiento estándar para la fermentación de coliformes totales (Standard Total Coliform Fermentation Technique) (Ver anexo 2.4)

3.9.2. Determinación de coliformes termotolerantes

El análisis de coliformes termotolerantes fue realizado por el laboratorio SGS del Perú, empleando el método de tubos múltiples, conforme a lo establecido en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – “SMEWW-APHA-AWWA-WEF”, Parte 9221 E.1, 24ª edición (2023). Este procedimiento corresponde a la técnica de Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, específicamente el método para coliformes fecales (Fecal Coliform Procedure), utilizando el medio EC (Thermotolerant Coliform Test – EC Medium (Ver anexo 2.4).

3.9.3. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno

El análisis de la demanda bioquímica de oxígeno a 5 días (DBO_5) fue realizado por el laboratorio SGS del Perú, utilizando el método respirométrico manométrico, conforme al procedimiento de ensayo descrito en la norma Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – "SMEWW-APHA-AWWA-WEF", Parte 5210 B, 24ª edición (2023): Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD Test (ver anexo 2.4).

3.9.4. Determinación del oxígeno disuelto

La concentración del oxígeno disuelto (mg/L), fue determinado mediante el método electrométrico, a través de una medición directa. A continuación, se detalla el procedimiento utilizado para la medición de este parámetro:

Procedimiento:

Previo a la medición, el sensor del multiparámetro modelo ODEON, marca FONSEL, fue lavado con agua destilada. Posteriormente, el equipo se apagó y encendió nuevamente para dar inicio a la medición.

La sonda se introdujo en el agua del río, aproximadamente a una distancia equivalente a ¾ del ancho del río. Se esperó hasta que la lectura se estabilizara para asegurar la precisión de los datos. Una vez estabilizada, se procedió a anotar los valores obtenidos en la cadena de custodia. Finalmente, se apagó el equipo y se enjuagó cuidadosamente el electrodo de la sonda con agua destilada. Se deshumedeció con papel tisú para preparar la sonda para la siguiente medición.

3.9.5. Determinación del porcentaje de saturación de oxígeno

Para determinar el porcentaje de saturación de oxígeno (% Sat O_2) se realizó a partir de la concentración de oxígeno disuelto (OD) medida en el agua del río Huatatas, considerando la temperatura y la presión atmosférica local, ya que ambas variables influyen directamente en la solubilidad del oxígeno.

El porcentaje de saturación se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\%\ Sat\ O_2 = \frac{OD_{real}}{C_{sat}} \times 100 \quad \text{..... (Ecuación 5)}$$

Nota. Fuente: Adaptado de Roldán Pérez, G., y Ramírez Restrepo, J. J. (2022).

Procedimiento:

En primer lugar, se midió el oxígeno disuelto de la muestra (ODreal) y se registró la temperatura del agua y la presión atmosférica local. A partir de la temperatura, se obtuvo el valor de oxígeno disuelto a saturación (Csat) bajo condiciones estándar de presión (1 atm o 1013,25 hPa), utilizando tablas o ecuaciones de solubilidad. Posteriormente, este valor de saturación se corrigió según la presión atmosférica local (medida in situ), ya que a menor presión el agua tiene una menor capacidad para disolver oxígeno. La corrección se realizó mediante la siguiente relación:

$$C_{sat} = C_{std} \times \frac{P_{local}}{P_{std}}$$

Nota. Fuente: Adaptado de Roldán Pérez, G., y Ramírez Restrepo, J. J. (2022)

Finalmente, el porcentaje de saturación de oxígeno se calculó comparando el oxígeno disuelto medido con el oxígeno disuelto a saturación corregido y expresando el resultado como porcentaje. Este parámetro es fundamental para evaluar el estado de oxigenación de un cuerpo de agua y su idoneidad para el desarrollo de la vida acuática.

3.9.6. Procedimiento para la determinación de alcalinidad

La alcalinidad total se determinó mediante un procedimiento experimental basado en el método de titulación.

Procedimiento:

Primero se procedió a preparar la solución de HCl al 0,02 N, para esto se parte de una solución de HCl de concentración 1 N, se utilizó la fórmula α.

Se requiere de 500 mL de solución, para una concentración de 0,02 N entonces:

$$C1 * V1 = C2 * V2 \text{.....(α)}$$

$$V1 = \frac{C2 * V2}{C1}$$

$$V1 = \frac{0{,}02\ N * 500\ mL}{1N} = 10\ mL\ de\ HCl\ 1\ N$$

Se necesitó 10 mL de solución de HCl 1 N, para preparar 500 mL de solución de HCl 0,02 N. Una vez preparada la solución se procedió a la valoración, para lo cual se preparó una solución de Na_2CO_3; se procedió a pesar 0,1274 g, se disolvió y se transvaso a una fiola de 100 mL, enrasando con agua destilada hasta el aforo.

$$Normalidad\ de\ Na_2CO_3 = \frac{n * \theta}{Vsol}$$

$$Normalidad\ de\ Na_2CO_3 = \frac{m * \theta}{PM * Vsol}$$

$$Normalidad\ de\ Na_2CO_3 = \frac{0{,}1274\ g * 2}{106\frac{g}{mol} * 0{,}1\ L} = 0{,}024\ N$$

Se dispuso en un matraz de Erlenmeyer 10 mL de solución de Na_2CO_3 a 0,024 N y se le adiciono de 3 a 4 gotas de indicador anaranjado de metilo, para después titular con el HCl hasta observar el vire de color, gastando un total de 11,3 mL de HCl.

$$Eq - gramo_{HCl} = Eq - gramo_{Na_2CO_3}$$

$$N_{HCL} * V_{HCl} = \frac{mNa_2CO_3 * \theta}{PMNa_2CO_3}$$

$$N_{HCL} * V_{HCl} = \frac{mNa_2CO_3}{PeqNa_2CO_3}$$

$$N_{HCl} = \frac{mNa_2CO_3}{PeqNa_2CO_3} * \frac{1}{V_{gastado\ HCl}}$$

$$N_{HCl} = (\frac{n * v}{P_{eq}})_{Na_2CO_3} * \frac{1}{V_{gastado\ HCl}}$$

$$N_{HCl} = \frac{\frac{0{,}1274\ g * 10\ mL}{100\ mL} * 2\frac{Eq}{mol}}{105{,}99\frac{g}{mol}} * \frac{1}{0{,}0113\ L} = 0{,}0213\ N$$

Una vez concluida la valoración de la solución de HCl. Se determino la alcalinidad del agua del río Huatatas para lo cual se midió 50 mL de la muestra de agua, con una pipeta volumétrica, seguido se le adiciono el indicador fenolftaleína lo cual cambió de incolora a un rosa pálido, se tituló con HCl 0,0213 N hasta volver al color inicial de la solución (incoloro). Seguido a esto se le agregó de 3 a 4 gotas de indicador anaranjado de metilo, esto cambió el color de la solución a un amarillo débil, luego se tituló con la solución de HCl hasta que la solución vire a un color naranja, la suma de los dos volúmenes tanto para la fenolftaleína como para el anaranjado de metilo permitió el cálculo de la alcalinidad total.

Para dicho calculo se utilizó la siguiente expresión:

$$Alcalinidad = \frac{(N * V)_{HCl} * Peq - CaCO_3}{Volumen\ de\ solución}$$

3.9.7. Determinación de la dureza total

Procedimiento experimental por método de titulación.

Procedimiento:

Primeramente, se preparó la solución buffer de pH 10, para 10 mL de solución buffer se pesó 0,68 g de cloruro de amonio y se midió 5,7 mL de hidróxido de amonio, se mezcló hasta disolver para luego enrazar con agua destilada hasta 10 mL.

La solución titulante fue el EDTA 0,01M, para lo cual se pesó 2 g de sal sódica de etilendiamina tetracetato y se disolvió en 200 mL de agua destilada, para después enrazar a 500 mL con agua destilada.

Para la valoración de la solución de EDTA primero se puso a secar por una hora a 180 °C carbonato de calcio ($CaCO_3$), terminado el proceso de secado, se pesó 0,1029 g de $CaCO_3$ y se colocó en un vaso de precipitado y se agregó 30 mL de agua destilada, y añadió 35 gotas de HCl (1:1) hasta disolver todo el $CaCO_3$, se finalizó enrasando a 100 mL con agua destilada.

Calculó de la molaridad del $CaCO_3$

$$\bar{M}CaCO_3 = \frac{número\ de\ moles}{Vol.solución} = \frac{N}{V}$$

$$N = \frac{m}{Pm} = \frac{masa}{peso\ molecular}$$

$$masa = 0{,}1029\ g$$

$$peso\ molecular = 100{,}0869\ \frac{g}{mol}$$

$$\bar{M}CaCO_3 = \frac{m}{\frac{pm}{\frac{v}{1}}} = \frac{m}{pm * v}$$

$$\bar{M}CaCO_3 = \frac{0{,}1029\ g}{100{,}0869 \frac{g}{mol} * 0{,}1\ L} = 0{,}0103\ mol/L$$

Cálculo de concentración real EDTA

Se tomo 10 mL de esta solución, y se agregó 1,2 mL de buffer de pH 10, asimismo se agregó una pisca de indicador negro de eriocromo y se procedió a titular la solución de EDTA y calcular la concentración real.

$$M_{EDTA} = \frac{(M * V)CaCO_3}{V\ gastado_{EDTA}}$$

$$MCaCO_3 = 0{,}0103\ mol/L$$

$$VCaCO_3 = 10\ mL$$

$$V_{EDTA} = 10{,}6\ mL$$

$$M_{EDTA} = \frac{0{,}0103 \frac{g}{mol} * 10\ mL}{10{,}6\ mL} = 0{,}009717\ moles/L$$

Para determinar la dureza total primero se midió 50 mL de la muestra de agua con una pipeta volumétrica, luego se trasvasó a un matraz de 250 mL. Seguido de esto se le agrego 0,5 mL de solución buffer a un pH 10 y una pisca de indicador negro de

eriocromo, la muestra se tornó un color vino, se tituló esta solución con el EDTA hasta viraje de color a azul cielo.

Para la determinación de la dureza total se empleó la siguiente expresión:

$$Dureza\ total\ CaCO_3 = \frac{(M * V)_{EDTA} * PM_{CaCO_3}}{Volumen\ de\ muestra}$$

3.9.8. Determinación del pH

Para la determinación del potencial de hidrógeno se utilizó el método electrométrico (medición directa).

A continuación, se detalla el procedimiento utilizado para la medición del potencial de hidrógeno:

Procedimiento:

Previo a la medición, se calibró el multiparámetro (Hach modelo HQ40d) utilizando las soluciones estándar proporcionadas por el equipo. Posteriormente, se apagó y encendió el equipo para iniciar la medición.

La sonda se introdujo en el agua del río, aproximadamente a una distancia equivalente a ¾ del ancho del río. Se esperó hasta que la lectura se estabilizara para asegurar la precisión de los datos. Una vez estabilizada, se procedió a registrar los valores obtenidos en la cadena de custodia. Finalmente, se apagó el equipo y se enjuagó cuidadosamente el electrodo de la sonda con agua destilada. Se deshumedeció con papel tisú para preparar la sonda para la siguiente medición.

3.9.9. Determinación de fósforo total

El análisis de fósforo total fue realizado por el laboratorio SGS del Perú, utilizando el método espectrofotométrico, conforme a lo establecido en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – “SMEWW-APHA-AWWA-WEF”, Parte 4500-P.F.J, 24ª edición (2023): Phosphorus. Automated Ascorbic Acid Reduction Method. Persulfate Method for Simultaneous Determination of Total Nitrogen and Total Phosphorus (Ver anexo 2.4).

3.9.10. Determinación de la conductividad

La conductividad se determinó por el método electrométrico, mediante una medición directa.

A continuación, se detalla el procedimiento utilizado para la medición de la conductividad eléctrica del agua:

Procedimiento:

Previo a la medición, se calibró el multiparámetro (Hach modelo HQ40d) utilizando las soluciones estándar proporcionadas por el equipo. Posteriormente, se apagó y encendió el equipo para iniciar la medición.

La sonda se introdujo en el agua del río, aproximadamente a una distancia equivalente a ¾ del ancho del río. Se esperó hasta que la lectura se estabilizara para asegurar la precisión de los datos. Una vez estabilizada, se procedió a registrar los valores obtenidos en la cadena de custodia. Finalmente, se apagó el equipo y se enjuagó cuidadosamente el electrodo de la sonda con agua destilada. Se deshumedeció con papel tisú para preparar la sonda para la siguiente medición.

3.9.11. Determinación de sólidos suspendidos totales

La determinación de sólidos suspendidos totales se realizó mediante el método gravimétrico, conforme al procedimiento descrito en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Method 2540-D).

Procedimiento:

El procedimiento consistió en registrar inicialmente el peso del filtro y la placa de vidrio (P_0). Posteriormente, se filtraron 400 mL de muestra a través del filtro previamente pesado. Luego, el filtro fue retirado cuidadosamente, colocado sobre la placa de vidrio y secado en estufa a una temperatura de 105 °C durante una hora. Finalizado el secado, el conjunto se enfrió en un desecador para estabilizar la temperatura y se registró el

peso final (P_1). La concentración de sólidos suspendidos totales se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$SST\ (mg/L) = \frac{(P1-P0)\times 1000}{V\ (mL)} \quad \text{..... (Ecuación 6)}$$

Donde:

P_1= peso final del filtro + placa (mg)

P_0= peso inicial del filtro + placa (mg)

V= volumen de la muestra filtrada (mL)

Se utilizó la metodología específica de la Asociación Americana de Salud Pública (APHA) para cada caso con el fin de determinar los parámetros microbiológicos, químicos y físicos.

En la tabla 10 se muestran las técnicas utilizadas.

Tabla 10

Técnicas y métodos de recolección de datos de los parámetros microbiológicos, químicos y *físicos*

Parámetro	Método	Referencia
Coliformes totales	Tubos múltiples	EW_APHA9221B
Coliformes termotolerantes	Tubos múltiples	EW_APHA9221E_NMP
DBO_5	Respirométrico/manométrico	EW_APHA5210B
% saturación de oxígeno	Electrométrico	Multiparámetro ODEON FONSEL
Alcalinidad	Titulación	Manual de procedimiento
Dureza total	Titulación	Manual de procedimiento
Potencial de hidrógeno	Electrométrico	Multiparámetro HACH HQ40D
Fósforo total	Espectrofotométrico	EW_APHA4500PJF
Conductividad	Electrométrico	Multiparámetro HACH HQ40D
Sólidos suspendidos totales	Gravimétrico	Method 2540-D

Nota. Fuente: APHA (2017)

3.10. Procesamiento y análisis estadístico

Para el procesamiento y análisis estadístico de los datos se consideró un modelo de análisis por bloques, teniendo en cuenta la distribución espacial y temporal de las observaciones. Esto permitió comparar los resultados obtenidos en las diferentes estaciones de muestreo y fechas de evaluación, con el propósito de determinar si existían diferencias significativas en los parámetros de calidad del agua y en los índices de contaminación.

Para este análisis se empleó el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) como modelo estadístico, considerando las estaciones de muestreo y las fechas de evaluación, de acuerdo con la estructura presentada en la tabla 11. Su aplicación permitió evaluar las variaciones observadas entre las estaciones y las fechas de muestreo, sin implicar manipulación de las condiciones naturales en las que se realizó el estudio.

Tabla 11

Modelo de matriz de diseño DBCA

Factor de bloque	**Factor de interés (Estación de muestreo)**		
	EM-1	…	EM-4
Fechas de muestreo	$R_{(1,1)}$	…	$R_{(4,1)}$

Nota. Donde: EM, Estación de muestreo; $R_{(x, y)}$, valor numérico de parámetro de estudio del factor *x* y bloque *y.*

3.10.1. Procesamiento de datos

El análisis de los datos se llevó a cabo empleando el software Excel y el paquete estadístico Statgraphics Centurión XVI. Los resultados se presentaron en tablas que incluyen estadísticas descriptivas como promedio, desviación estándar, valores mínimos y máximos. Asimismo, se utilizaron gráficos para mostrar la distribución espacial y temporal de las variables analizadas.

En las tablas y figuras se incluyen los valores del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el agua, Categoría 4: E2 (Costa y Sierra), según el D.S. N° 004-2017-MINAM (Anexo 2.5). Para comparar los valores de los parámetros y los índices de contaminación (ICO's) del río Huatatas entre las diferentes estaciones y fechas de muestreo, se aplicó una prueba estadística con un nivel de significancia de p-value < 0,05, utilizando la prueba de rangos múltiples con el método LSD al 95% de confianza.

3.10.2. Análisis estadístico

3.10.2.1. Prueba de diferencia significativa

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de significancia del 5% para probar las hipótesis estadísticas que a continuación se detallan:

Hipótesis estadísticas

- **Variables de interés:** Estaciones de muestreo

- Ho: No existe diferencia significativa entre los parámetros microbiológicos como coliformes totales, de las aguas del río Huatatas en las diferentes estaciones de muestreo.
- Ha: Existe diferencia significativa entre los parámetros microbiológicos coliformes totales, de las aguas del río Huatatas en las diferentes estaciones de muestreo.
- Ho: No existe diferencia significativa entre los parámetros químicos como DBO_5, % saturación de oxígeno, alcalinidad, dureza total, potencial de hidrógeno (pH) y fósforo total, de las aguas del río Huatatas en las diferentes estaciones de muestreo.
- Ha: Existe diferencia significativa entre los parámetros químicos como DBO_5, % saturación de oxígeno, alcalinidad, dureza total, potencial de hidrógeno (pH) y fósforo total, de las aguas del río Huatatas en las diferentes estaciones de muestreo.

- Ho: No existe diferencia significativa entre los parámetros físicos como conductividad y sólidos suspendidos totales (SST), de las aguas del río Huatatas en las diferentes estaciones de muestreo.
- Ha: Existe diferencia significativa entre los parámetros físicos como conductividad y sólidos suspendidos totales (SST), de las aguas del río Huatatas en las diferentes estaciones de muestreo.

❖ **Factor bloque:** Fechas de muestreo

- Ho: No existe diferencia significativa entre los parámetros microbiológicos como coliformes totales, de las aguas del río Huatatas en las diferentes fechas de muestreo.
- Ha: Existe diferencia significativa entre los parámetros microbiológicos coliformes totales, de las aguas del río Huatatas en las diferentes fechas de muestreo.
- Ho: No existe diferencia significativa entre los parámetros químicos como DBO_5, % saturación de oxígeno, alcalinidad, dureza total, potencial de hidrógeno (pH) y fósforo total, de las aguas del río Huatatas en las diferentes fechas de muestreo.
- Ha: Existe diferencia significativa entre los parámetros químicos como DBO_5, % saturación de oxígeno, alcalinidad, dureza total, potencial de hidrógeno (pH) y fósforo total, de las aguas del río Huatatas en las diferentes fechas de muestreo.
- Ho: No existe diferencia significativa entre los parámetros físicos como conductividad y sólidos suspendidos totales (SST), de las aguas del río Huatatas en las diferentes fechas de muestreo.
- Ha: Existe diferencia significativa entre los parámetros físicos como conductividad y sólidos suspendidos totales (SST), de las aguas del río Huatatas en las diferentes fechas de muestreo.

3.10.2.2. Prueba de rangos múltiples

Se aplicó el método de LSD (Diferencia Mínima Significativa) de Fisher con la finalidad de mostrar las estaciones de muestreo y fechas de muestreo que tuvieron una diferencia significativa. Este método se realizó con un nivel del 95,0% de confianza, lo cual es mismo decir con un nivel de significancia del 5%.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se presentan mediante tablas y figuras, en las cuales se muestran los estadísticos descriptivos de los parámetros evaluados, tales como promedio, desviación estándar, valores mínimos y máximos. Asimismo, se incluyen figuras comparativas que permiten visualizar el comportamiento de los parámetros de calidad del agua: coliformes totales (NMP/100 mL), coliformes termotolerantes (NMP/100 mL), demanda bioquímica de oxígeno (mg/L), oxígeno disuelto (mg/L), porcentaje de saturación de oxígeno (%), alcalinidad (mg/L), dureza total (mg/L), potencial de hidrógeno (pH), fosforo total (mg/L), conductividad eléctrica (µS/cm) y sólidos suspendidos totales (mg/L), en relación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua de la Categoría 4, establecidos mediante el Decreto Supremo Nº 004-2017- MINAM. Para evaluar el comportamiento de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, así como de los índices de contaminación (ICO's) del río Huatatas durante los meses de estudio, se realizó un análisis estadístico descriptivo mediante el software Statgraphics Centurion XVI. II. Asimismo, se aplicó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), considerando las estaciones de muestreo como bloques, con la finalidad de identificar la variabilidad de los datos y reconocer posibles valores atípicos. El análisis espacio-temporal de los parámetros evaluados se efectuó mediante el software Microsoft Excel, utilizado para el procesamiento de datos y elaboración de gráficos comparativos entre las estaciones y fechas de muestreo, permitiendo una adecuada interpretación y discusión de los resultados obtenidos.

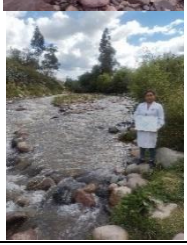
4.1. Resultados

4.1.1. Estaciones de muestreo

Las características y ubicación de las estaciones de muestreo se presentan en la tabla 12. La selección de los puntos de muestreo consideró criterios de representatividad del tramo evaluado y posibles influencias antrópicas. La recolección de muestras se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado mediante Resolución Jefatural Nº 010-2016-ANA.

Tabla 12

Características de las estaciones de muestreo en el río Huatatas

Código	Altitud (m.s.n.m)	Ubicación (UTM)		Características de la zona	Referencia	Fotografía
		Norte(m)	Este(m)			
RHuat-01	2738	8540158	586331	Zona con presencia de variedad de flora y fauna silvestre.	Puente Pucará	
RHuat-02	2674	8542234	587470	Zonas de actividad agrícola de frutales, hortalizas y legumbres.	Puente Santa Rosa	
RHuat-03	2634	8543563	587628	Zona de mayor afluencia para el lavado de ropas y vehículos por su accesibilidad.	Puente Huatatas	
RHuat-04	2563	8546565	587787	Zonas de actividades antropogénicas como recreos y extracción de agregado.	550 metros antes del encuentro entre el rio Huatatas y rio Alameda	

4.1.2. Fechas de muestreo

Las fechas de muestreo se detallan en la tabla 13. Estos muestreos se realizaron en cuatro estaciones distribuidas a lo largo del área de estudio. La recolección y análisis de las muestras se llevaron a cabo durante la temporada de estiaje específicamente entre los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2024. Se realizaron un total de cuatro fechas de muestreos, con una frecuencia aproximada de uno cada 29 días.

Tabla 13

Fechas de muestreo del río Huatatas en temporada de estiaje (2024)

Descripción	Fecha de muestreo
M1	01 de octubre del 2024
M2	30 de octubre del 2024
M3	29 de noviembre del 2024
M4	27 de diciembre del 2024

4.1.3. Parámetros microbiológicos

4.1.3.1. Coliformes totales

En la tabla 14 se presentan los valores de coliformes totales (NMP/100 mL) registrados en las estaciones de muestreo del río Huatatas durante las diferentes fechas evaluadas. Los resultados evidenciaron una variación marcada tanto espacial como temporal, con diferencias estadísticamente significativas (p-value<0,05) (ver anexos 4 y 10).

Durante las dos primeras fechas de muestreo (M1 y M2), los valores de los coliformes totales fluctuaron entre 33 y 1300 NMP/100 mL, siendo M1 la fecha con valores más bajos en la mayoría de estaciones. Sin embargo, en las fechas M3 y principalmente, en M4 se observó un incremento significativo de las concentraciones, alcanzando valores de hasta 5400 NMP/100 mL en la estación RHuat-04. La estación RHuat-04 presentó los valores más altos a lo largo del estudio, con un incremento progresivo desde 1100 (M1) hasta 5400 NMP/100 mL (M4). Por el contrario, la estación

RHuat-01 registró los niveles más bajos, con un mínimo de 33 NMP/100 mL en la fecha M2.

Tabla 14

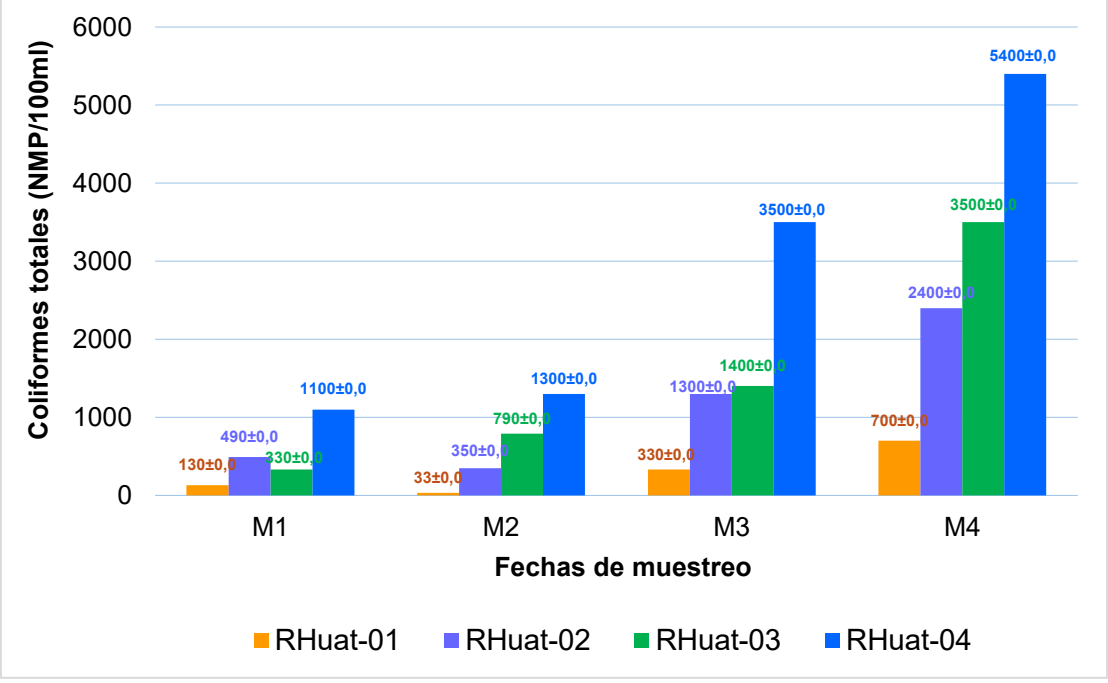
Coliformes totales (NMP/100 mL) en las estaciones y fechas de muestreo

Estación de muestreo	M1[a]			M2[a]			M3[b]			M4[c]		
	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s
RHuat-01[A]	130,00	±	0,00	33,00	±	0,00	330,00	±	0,00	700,00	±	0,00
RHuat-02[B]	490,00	±	0,00	350,00	±	0,00	1300,00	±	0,00	2400,00	±	0,00
RHuat-03[B]	330,00	±	0,00	790,00	±	0,00	1400,00	±	0,00	3500,00	±	0,00
RHuat-04[C]	1100,00	±	0,00	1300,00	±	0,00	3500,00	±	0,00	5400,00	±	0,00
$\bar{x}$ máximo	1100,00			1300,00			3500,00			5400,00		
$\bar{x}$ mínimo	130,00			33,00			330,00			700,00		

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; $\bar{x}$ es la media; S es la desviación estándar, letras mayúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las estaciones de muestreo; letras minúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las fechas de muestreo, estas fueron evaluadas a través del LSD, con α = 5%. Los cálculos se visualizan en el Anexo 10.

Figura 11

Coliformes totales (NMP/100 mL) en las estaciones y fechas de muestreo



En la figura 11 se observa la fluctuación de los niveles de coliformes totales (NMP/100 mL) en las diferentes estaciones y fechas de muestreo. Se aprecia una tendencia creciente en todas las estaciones. La estación RHuat-04 presentó las concentraciones más elevadas en cada fecha, alcanzando el máximo de 5400 NMP/100

mL durante M4. Este comportamiento podría estar relacionado con la presencia de fuentes de contaminación en dicha zona. Por el contrario, RHuat-01 registró los valores más bajos, particularmente durante M2, con 33 NMP/100 mL, lo que evidencia una menor concentración de coliformes totales en comparación con las estaciones ubicadas aguas abajo, sugiriendo menor impacto antrópico.

4.1.3.2. Coliformes termotolerantes

Asimismo, en la tabla 15 se presentan los valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) obtenidos en las estaciones de muestreo del río Huatatas durante las diferentes fechas evaluadas. Los resultados evidenciaron diferencias significativas tanto espacial como temporalmente (p-value<0,05) (ver anexos 4 y 11).

Los valores obtenidos fluctuaron entre 4,5 y 1300 NMP/100 mL. La estación RHuat-01 presentó los valores más bajos en todas las fechas de muestreo, mientras que RHuat-04 registró los más altos. En la fecha M3 se observaron las mayores concentraciones en todas las estaciones, con un incremento progresivo desde 130 NMP/100 mL en RHuat-01 hasta 1300 NMP/100 mL en RHuat-04.

Tabla 15

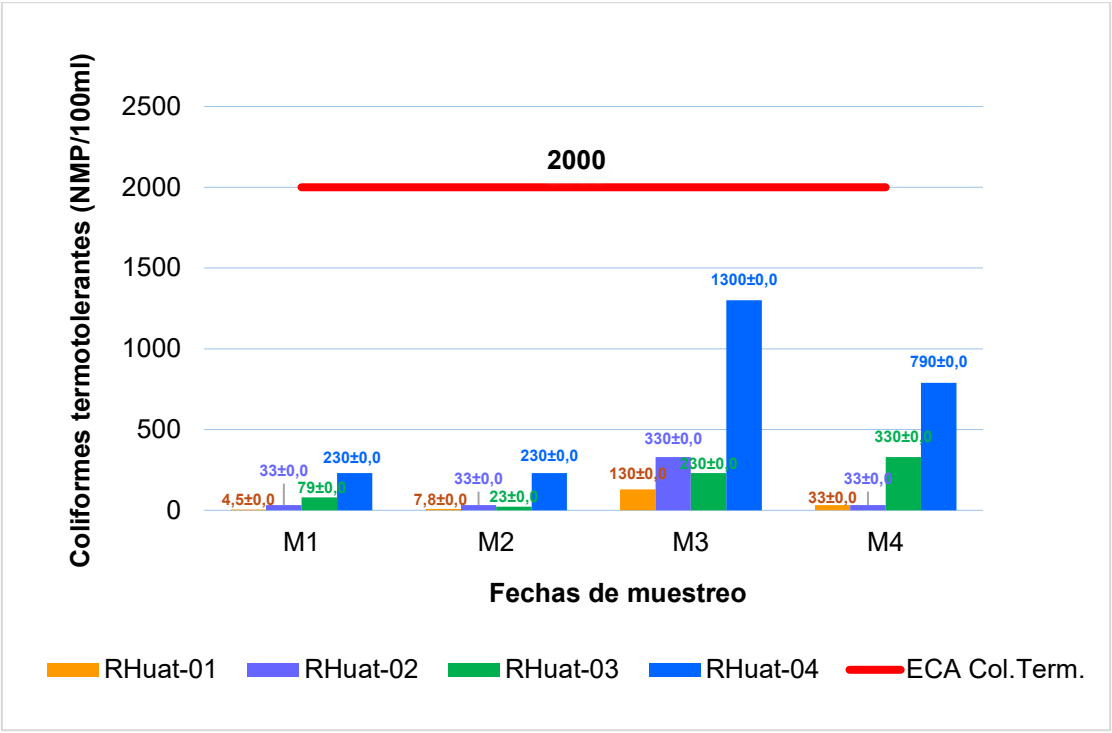
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM

Estación de muestreo	M1[a]			M2[a]			M3[b]			M4[c]		
	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s
RHuat-01[A]	4,50	±	0,00	7,80	±	0,00	130,00	±	0,00	33,00	±	0,00
RHuat-02[A]	33,00	±	0,00	33,00	±	0,00	330,00	±	0,00	33,00	±	0,00
RHuat-03[A]	79,00	±	0,00	23,00	±	0,00	230,00	±	0,00	330,00	±	0,00
RHuat-04[B]	230,00	±	0,00	230,00	±	0,00	1300,00	±	0,00	790,00	±	0,00
Coliformes termotolerantes- ECA para agua Categoría 4 (E2: Ríos)												
Costa y sierra	2000			2000			2000			2000		
$\bar{x}$ máximo	230,00			230,00			1300,00			790,00		
$\bar{x}$ mínimo	4,50			7,80			130,00			33,00		

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; $\bar{x}$ es la media; S es la desviación estándar, letras mayúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las estaciones de muestreo; letras minúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las fechas de muestreo, estas evaluadas a través del LSD, con α = 5%. Los cálculos se visualizan en el Anexo 11.

Figura 12

Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM



La figura 12 muestra la distribución de los coliformes termotolerantes en las diferentes estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas. Se observa un incremento gradual de los valores desde la estación RHuat-01 hasta RHuat-04 en todas las fechas de muestreo. Asimismo, la figura incluye el valor límite de 2000 NMP/100 mL establecido para este parámetro en los ECA para Agua, Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

4.1.4. Parámetros químicos

4.1.4.1. Demanda bioquímica de oxígeno

Los valores obtenidos de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) se presentan en la tabla 16. Los resultados muestran que las concentraciones registradas fueron inferiores a 2,6 mg/L (ver anexo 2.4), en las cuatro estaciones y durante las 4 fechas de muestreo.

Tabla 16

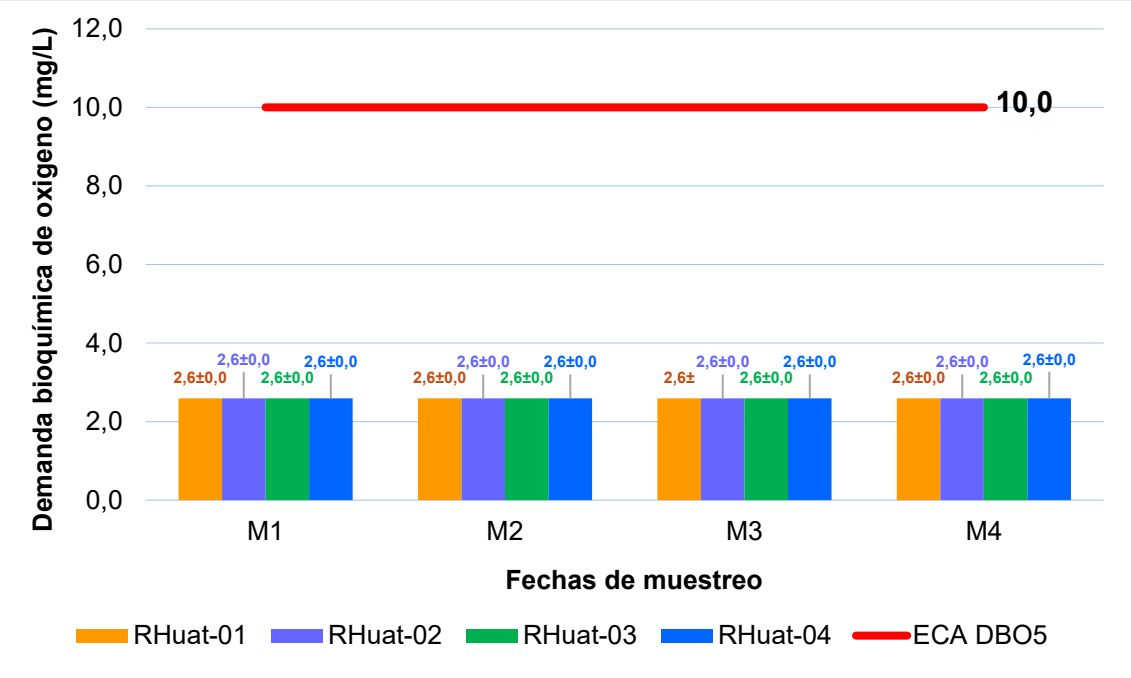
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM

Estación de muestreo	M1			M2			M3			M4		
	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s
RHuat-01	<2,6	±	0,00	<2,6	±	0,00	<2,6	±	0,00	<2,6	±	0,00
RHuat-02	<2,6	±	0,00	<2,6	±	0,00	<2,6	±	0,00	<2,6	±	0,00
RHuat-03	<2,6	±	0,00	<2,6	±	0,00	<2,6	±	0,00	<2,6	±	0,00
RHuat-04	<2,6	±	0,00	<2,6	±	0,00	<2,6	±	0,00	<2,6	±	0,00
Demanda bioquímica de oxígeno - ECA para agua Categoría 4 (E2: Ríos)												
Costa y sierra	10			10			10			10		
$\bar{x}$ máximo	<2,6			<2,6			<2,6			<2,6		
$\bar{x}$ mínimo	<2,6			<2,6			<2,6			<2,6		

Nota: M1, M2, M3 y M4 corresponden a las fechas de muestreo, en ese orden. $\bar{x}$ representa la media, y S la desviación estándar. Los cálculos detallados se presentan en el Anexo 2.4.

Figura 13

Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM



La figura 13 muestra la distribución de los valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) obtenidos de las aguas del río Huatatas durante las diferentes

estaciones y fechas de muestreo. Asimismo, se presenta el valor límite de 10,0 mg/L establecido para este parámetro en los ECA para Agua, Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, lo que permite comparar las concentraciones obtenidas con el criterio de referencia establecido para la calidad del agua.

4.1.4.2. Oxígeno disuelto

La tabla 17 presenta los resultados de la concentración de oxígeno disuelto, expresados en mg/L, determinados mediante un multiparámetro modelo ODEON de la marca FONSEL empleando el método electrométrico. Los resultados evidenciaron diferencias significativas en las concentraciones de oxígeno disuelto tanto entre las estaciones como entre las fechas de muestreo (p-value<0,05) (ver anexos 4 y 13). Los valores registrados oscilaron entre 4,87 mg/L, correspondiente a la estación RHuat-03 durante M2, y 6,11 mg/L, registrado en RHuat-02 durante M1.

Tabla 17

Oxígeno disuelto (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM

Estación de muestreo	M1[ac]			M2[b]			M3[c]			M4[a]		
	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s
RHuat-01[A]	5,77	±	0,04	5,34	±	0,04	5,71	±	0,05	5,72	±	0,05
RHuat-02[B]	6,11	±	0,02	5,54	±	0,02	5,87	±	0,02	5,65	±	0,03
RHuat-03[C]	5,24	±	0,03	4,87	±	0,01	5,49	±	0,03	5,36	±	0,04
RHuat-04[D]	5,41	±	0,02	4,98	±	0,02	5,48	±	0,02	5,47	±	0,09
Oxígeno disuelto (mg/L) Valor mínimo - ECA para agua Categoría 4 (E2: Ríos)												
Costa y sierra	≥5			≥5			≥5			≥5		
$\bar{x}$ máximo	6,11			5,54			5,87			5,72		
$\bar{x}$ mínimo	5,24			4,87			5,48			5,36		

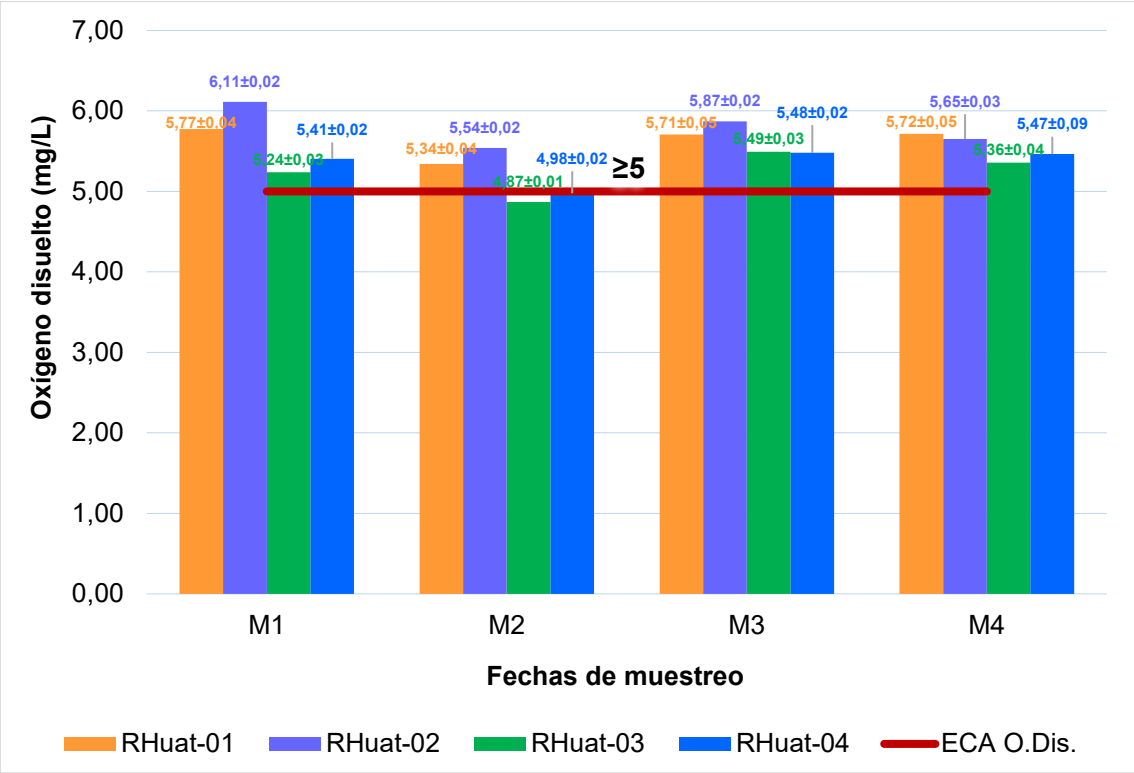
Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; $\bar{x}$ es la media; S es la desviación estándar, letras mayúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las estaciones de muestreo; letras minúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las fechas de muestreo, estas fueron evaluadas a través del LSD, con α = 5%. Los cálculos se visualizan en el Anexo 13.

La figura 14 muestra la distribución de las concentraciones de oxígeno disuelto en las diferentes estaciones y fechas de muestreo. Asimismo, se incluye el valor mínimo de referencia de 5 mg/L, establecido por los ECA para Agua, Categoría 4: Conservación

del ambiente acuático, E2: Ríos (Costa y Sierra), lo que permite comparar los valores registrados en el río Huatatas con el criterio establecido para este parámetro.

Figura 14

Oxígeno disuelto (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM



4.1.4.3. Porcentaje de saturación de oxígeno

Los resultados del porcentaje de saturación de oxígeno, evaluados en distintas estaciones y fechas de muestreo en el río Huatatas, fueron determinados en base a la lectura in situ de la concentración de oxígeno disuelto (mg/L), la temperatura del agua y la presión atmosférica. Los resultados se presentan en la tabla 18, donde se observaron diferencias significativas entre las estaciones y fechas de muestreo (p-value<0,05) (ver anexos 4 y 14). Los valores obtenidos fluctuaron entre 79,78 %, registrado en la estación RHuat-03 durante el muestreo M2, y 100,88 %, correspondiente a la estación RHuat-02 durante el muestreo M1.

Tabla 18

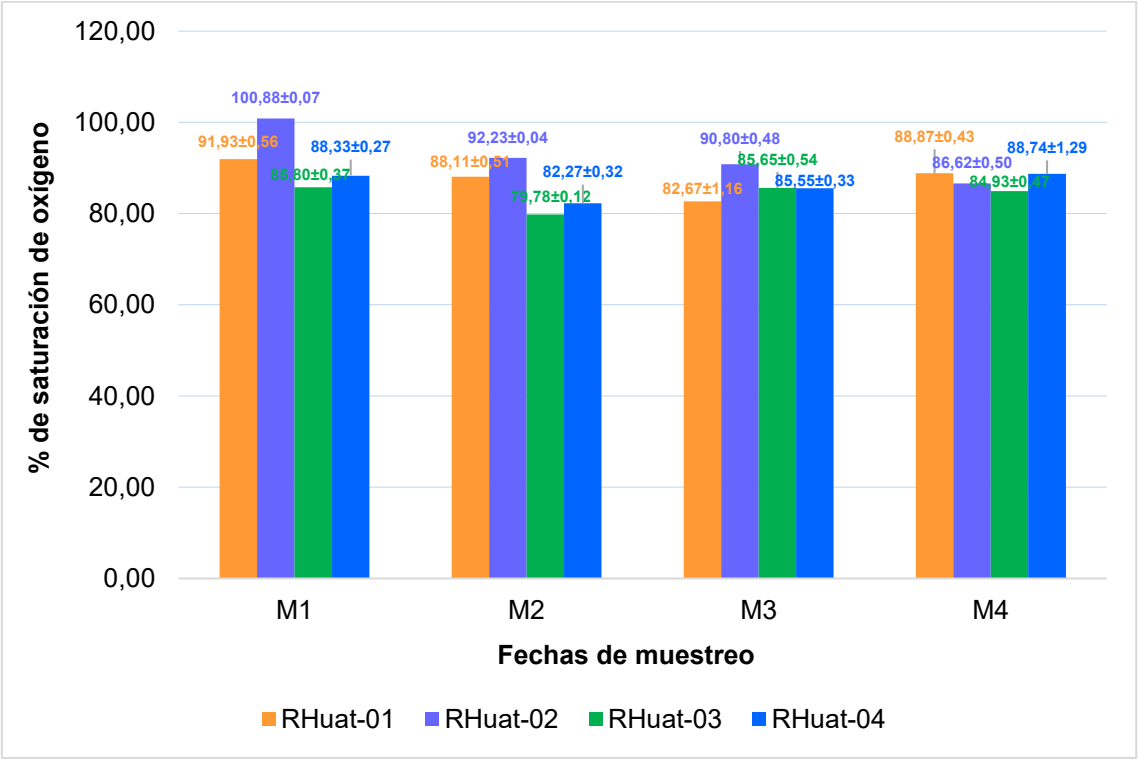
% de saturación de oxígeno en las estaciones y fechas de muestreo

Estación de muestreo	M1[a]			M2[b]			M3[b]			M4[b]		
	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s
RHuat-01[A]	91,93	±	0,56	88,11	±	0,51	82,67	±	1,16	88,87	±	0,43
RHuat-02[A]	100,88	±	0,07	92,23	±	0,40	90,80	±	0,48	86,62	±	0,50
RHuat-03[B]	85,80	±	0,37	79,78	±	0,12	85,65	±	0,54	84,93	±	0,47
RHuat-04[B]	88,33	±	0,27	82,27	±	0,32	85,55	±	0,33	88,74	±	1,29
$\bar{x}$ máximo	100,88			92,23			90,80			88,87		
$\bar{x}$ mínimo	85,80			79,78			82,67			84,93		

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; $\bar{x}$ es la media; S es la desviación estándar, letras mayúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las estaciones de muestreo; letras minúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las fechas de muestreo, estas evaluadas a través del LSD, con α = 5%. Los cálculos se visualizan en el Anexo 14.

Figura 15

% de saturación de oxígeno en las estaciones y fechas de muestreo



La figura 15 muestra la variación del porcentaje de saturación de oxígeno en las diferentes estaciones y fechas de muestreo. En general, los valores presentan un comportamiento relativamente constante. El valor máximo fue de 100,88 %, registrado

en la estación RHuat-02 durante M1, mientras que el valor mínimo correspondió a 79,78 %, observado en RHuat-03 durante M2.

4.1.4.4. Alcalinidad

La alcalinidad fue determinada mediante el método de titulación. Los datos obtenidos en las estaciones de muestreo del río Huatatas, evaluadas en diferentes fechas, se resumen en la tabla 19. Los resultados evidencian una variación significativa tanto espacial como temporal (p-value<0,05) (ver anexo 4 y 15).

La alcalinidad es un parámetro que indica la concentración de iones carbonato, bicarbonato e hidróxido presentes en una muestra de agua. Asimismo, representa la capacidad del agua para resistir cambios en su pH (Udelar, 2018).

En las muestras analizadas del río Huatatas, los valores de alcalinidad oscilaron entre 57,87 mg $CaCO_3$/L (RHuat-02, M3) y 170,05 mg $CaCO_3$/L (RHuat-04, M1).

Tabla 19

Alcalinidad (mg/L) en las estaciones de muestreo y fechas de muestreo

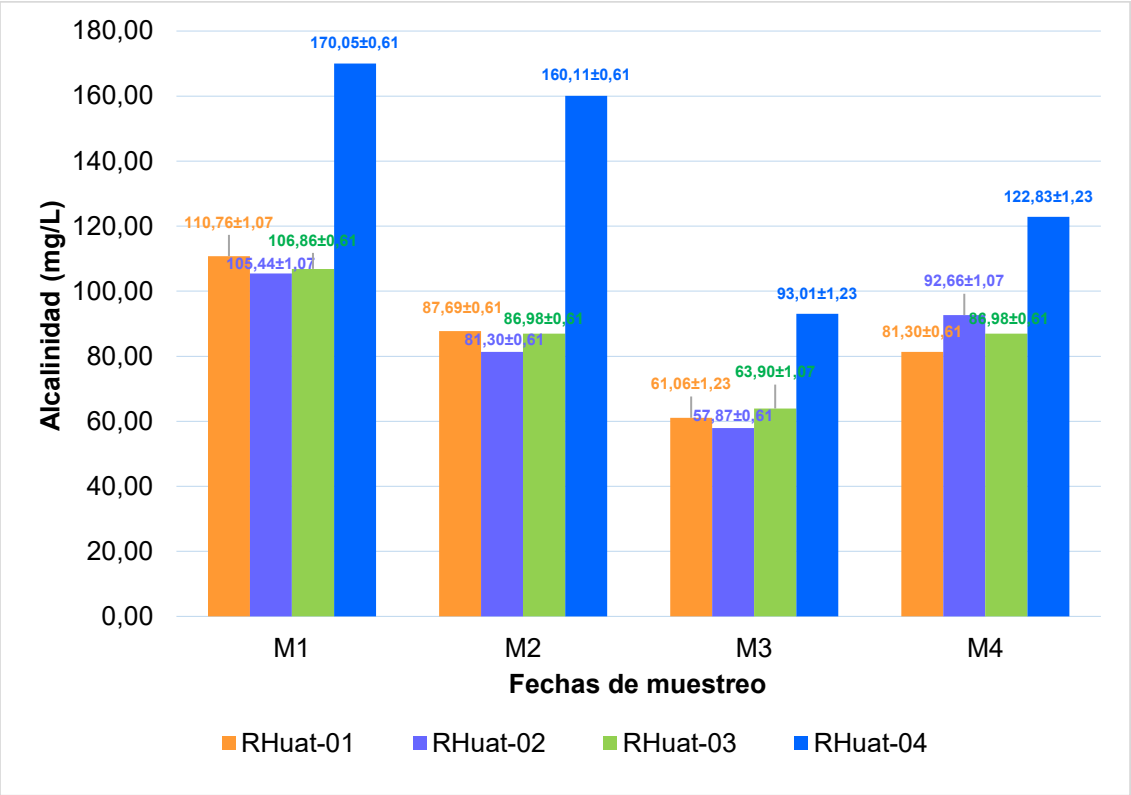
Estación de muestreo	M1[a]			M2[b]			M3[c]			M4[d]		
	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s
RHuat-01[A]	110,76	±	1,07	87,69	±	0,61	61,06	±	1,23	81,30	±	0,61
RHuat-02[A]	105,44	±	1,07	81,30	±	0,61	57,87	±	0,61	92,66	±	1,07
RHuat-03[A]	106,86	±	0,61	86,98	±	0,61	63,90	±	1,07	86,98	±	0,61
RHuat-04[B]	170,05	±	0,61	160,11	±	0,61	93,01	±	1,23	122,83	±	1,23
$\bar{x}$ máximo	170,05			160,11			93,01			122,83		
$\bar{x}$ mínimo	105,44			81,30			57,87			81,30		

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; $\bar{x}$ es la media; S es la desviación estándar, letras mayúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las estaciones de muestreo; letras minúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las fechas de muestreo, estas fueron evaluadas a través del LSD, con α = 5%. Los cálculos se visualizan en el Anexo 15.

La figura 16 muestra la variación de la alcalinidad del agua en las estaciones RHuat-01, RHuat-02, RHuat-03 y RHuat-04 durante las fechas de muestreo M1, M2, M3 y M4. Se observa una tendencia general de incremento de los valores hacia las estaciones ubicadas aguas abajo, alcanzándose las mayores concentraciones en RHuat-04, con valores de 170,05; 160,11; 93,01 y 122,83 mg $CaCO_3$/L para M1, M2, M3 y M4, respectivamente.

Figura 16

Alcalinidad (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo



4.1.4.5. Dureza total

La dureza total del agua se determinó mediante el método de titulación. Los resultados, presentados en la tabla 20, evidenciaron diferencias significativas entre las estaciones y fechas de muestreo evaluadas (p-value<0,05) (ver anexos 4 y 16). Los valores de dureza total fluctuaron entre 39,87 mg/L, registrado en la estación RHuat-03 durante el muestreo M3, y 119,29 mg/L, correspondiente a la estación RHuat-04 en el muestreo M2.

Tabla 20

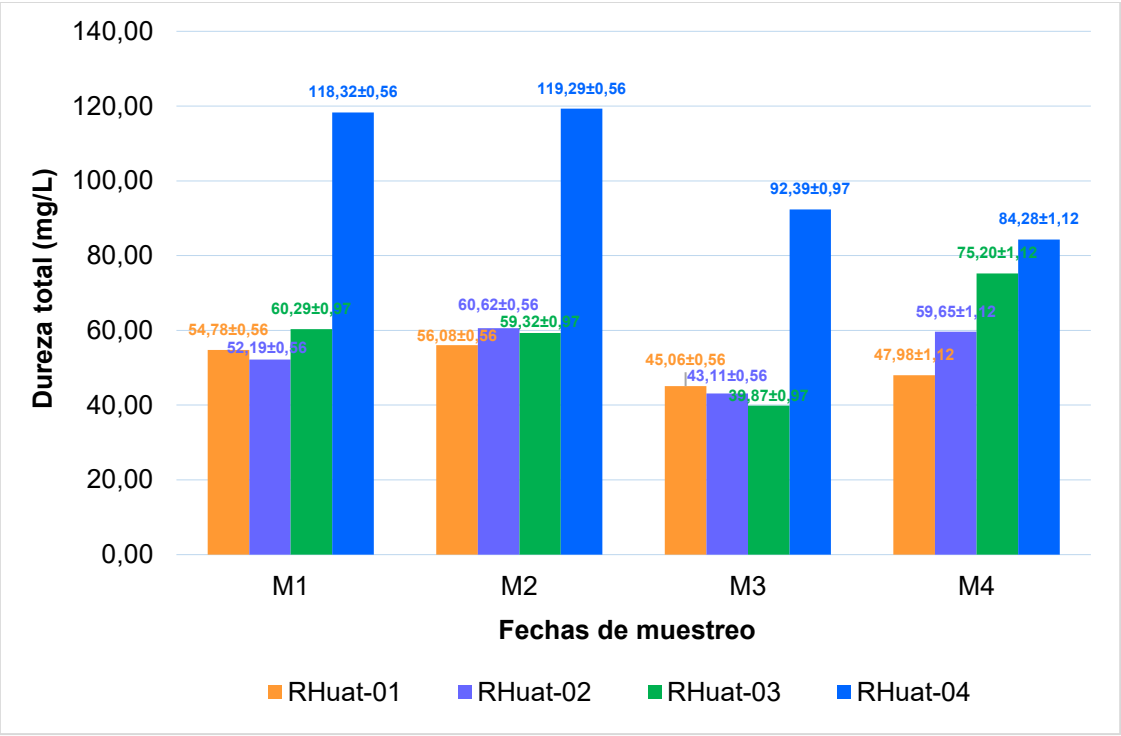
Dureza total (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo

Estación de muestreo	M1[a]			M2[b]			M3[b]			M4[b]		
	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s
RHuat-01[A]	54,78	±	0,56	56,08	±	0,56	45,06	±	0,56	47,98	±	1,12
RHuat-02[AB]	52,19	±	0,56	60,62	±	0,56	43,11	±	0,56	59,65	±	1,12
RHuat-03[B]	60,29	±	0,97	59,32	±	0,97	39,87	±	0,97	75,20	±	1,12
RHuat-04[C]	118,32	±	0,56	119,29	±	0,56	92,39	±	0,97	84,28	±	1,12
$\bar{x}$ máximo	118,32			119,29			92,39			84,28		
$\bar{x}$ mínimo	52,19			56,08			39,87			47,98		

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; $\bar{x}$ es la media; S es la desviación estándar, letras mayúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las estaciones de muestreo; letras minúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las fechas de muestreo, estas fueron evaluadas a través del LSD, con α = 5%. Los cálculos se visualizan en el Anexo 16.

Figura 17

Dureza total (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo



La figura 17, presenta la variación de la dureza total del agua en las estaciones de muestreo RHuat-01, RHuat-02, RHuat-03 y RHuat-04 durante las fechas M1, M2, M3 y M4. Se observa variabilidad en los valores registrados entre las estaciones y fechas de evaluación, con valores comprendidos entre 39,87 mg/L y 119,29 mg/L. El valor

mínimo se registró en RHuat-03 durante M3, mientras que el máximo correspondió a RHuat-04 durante M2.

4.1.4.6. Potencial de hidrógeno

Los niveles de pH del agua del río Huatatas se determinó empleando el método electrométrico con el multiparámetro Hach HQ40d. Los resultados se presentan en la tabla 21, el análisis estadístico evidencia que existe diferencias significativas entre las estaciones y las fechas de muestreo evaluadas (p-value<0,05) (ver anexos 4 y 17). Los resultados oscilaron entre 8,13, registrado en la estación RHuat-01 durante la fecha M4, y 9,31, registrado en la estación RHuat-02 durante la fecha M2.

Tabla 21

Potencial hidrógeno (pH) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM

Estación de muestreo	M1[a]			M2[a]			M3[b]			M4[b]		
	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s
RHuat-01[A]	8,81	±	0,02	9,15	±	0,05	8,27	±	0,12	8,13	±	0,05
RHuat-02[B]	9,13	±	0,06	9,31	±	0,08	8,63	±	0,13	8,80	±	0,01
RHuat-03[B]	8,84	±	0,07	8,82	±	0,08	8,76	±	0,09	8,81	±	0,10
RHuat-04[B]	9,13	±	0,05	8,83	±	0,05	8,57	±	0,03	9,04	±	0,01
Potencial de hidrógeno - ECA para agua Categoría 4 (E2: Ríos)												
Costa y sierra	6,5-9,0			6,5-9,0			6,5-9,0			6,5-9,0		
$\bar{x}$ máximo	9,13			9,31			8,76			9,04		
$\bar{x}$ mínimo	8,81			8,82			8,27			8,13		

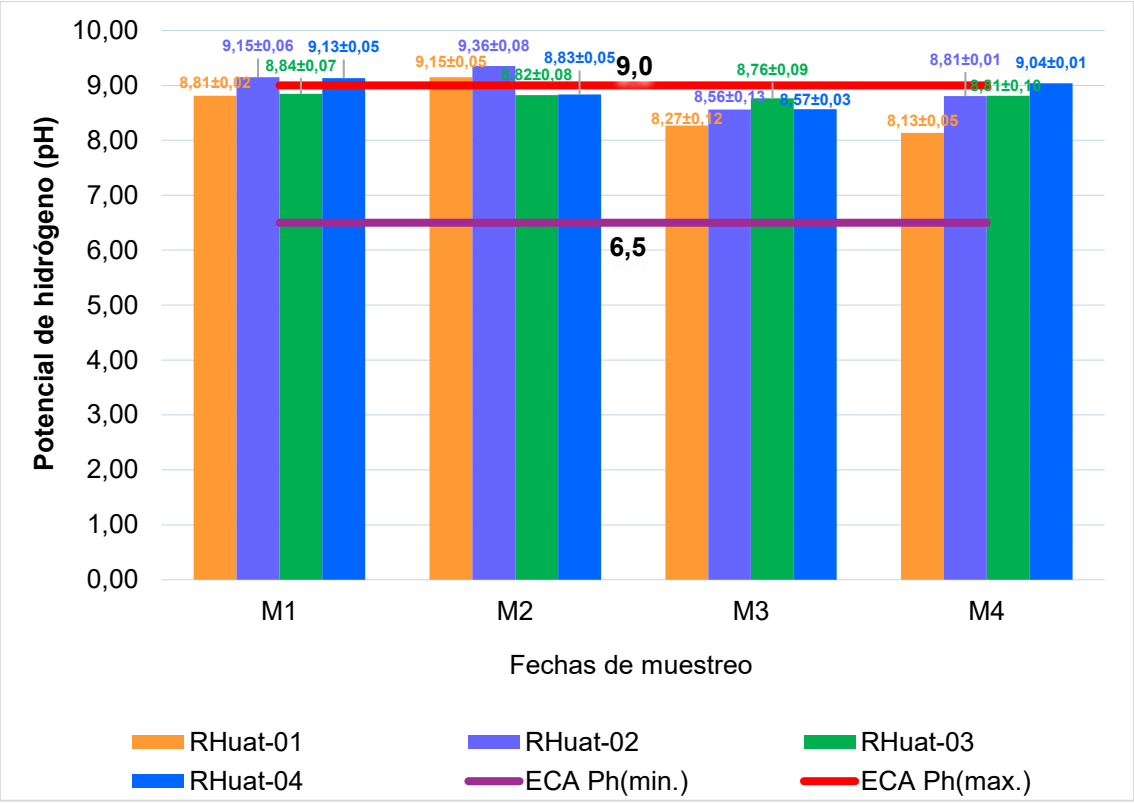
Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; $\bar{x}$ es la media; S es la desviación estándar, letras mayúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las estaciones de muestreo; letras minúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las fechas de muestreo, estas fueron evaluadas a través del LSD, con α = 5%. Los cálculos se visualizan en el Anexo 17.

En la figura 18 se muestra el comportamiento del pH en las diferentes estaciones y fechas de muestreo. Se observa que los valores registrados en M1 para las estaciones RHuat-02 y RHuat-04, en M2 para RHuat-01 y RHuat-02, y en M4 para RHuat-04 superaron el límite máximo (9,0) establecido por el ECA para Agua. Estos resultados evidencian variaciones temporales y espaciales del pH en el río Huatatas, indicando

que, en determinadas estaciones y fechas de evaluación, las condiciones del agua se encontraron fuera del rango establecido para la conservación del ambiente acuático.

Figura 18

Potencial hidrógeno (pH) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM



4.1.4.7. Fósforo total

Los valores de fósforo total (mg/L) obtenidos en las estaciones de muestreo del río Huatatas fueron determinados mediante el método espectrofotométrico y evaluados en las diferentes fechas de muestreo. Los resultados se muestran en la tabla 22, el análisis estadístico evidenció diferencias significativas tanto en el comportamiento espacial como temporal (p-value<0,05) (ver anexos 4 y 18). Los resultados fluctuaron entre 0,01 mg/L, registrado en la estación RHuat-01 durante el muestreo M1, y 0,10 mg/L, registrado en las estaciones RHuat-02 y RHuat-03 en el muestreo M3.

Tabla 22

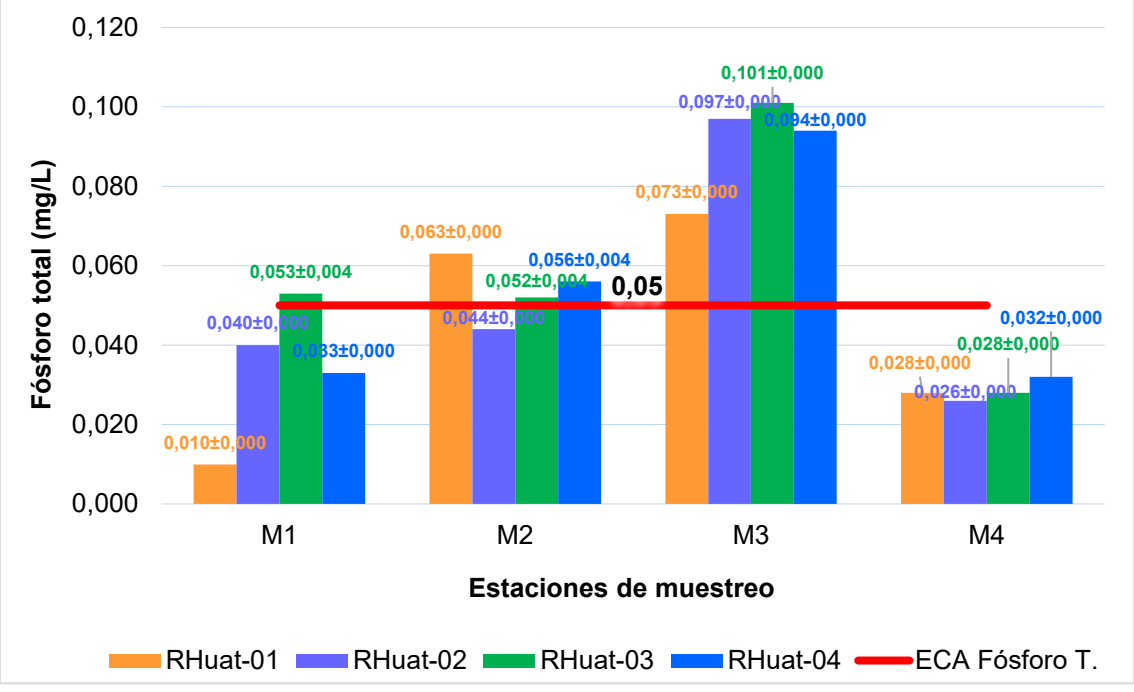
Fósforo total (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM

Estación de muestreo	M1[a]			M2[b]			M3[c]			M4[a]		
	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s
RHuat-01[A]	0,010	±	0,000	0,063	±	0,005	0,073	±	0,000	0,028	±	0,000
RHuat-02[B]	0,040	±	0,000	0,044	±	0,000	0,097	±	0,000	0,026	±	0,000
RHuat-03[B]	0,053	±	0,004	0,052	±	0,004	0,101	±	0,000	0,028	±	0,000
RHuat-04[AB]	0,033	±	0,000	0,056	±	0,004	0,094	±	0,000	0,032	±	0,000
Fósforo total - ECA para agua Categoría 4 (E2: Ríos)												
Costa y sierra	0,05			0,05			0,05			0,05		
$\bar{x}$ máximo	0,053			0,063			0,101			0,032		
$\bar{x}$ mínimo	0,010			0,044			0,073			0,026		

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; $\bar{x}$ es la media; S es la desviación estándar, letras mayúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las estaciones de muestreo; letras minúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las fechas de muestreo, estas fueron evaluadas a través del LSD, con α = 5%. Los cálculos se visualizan en el Anexo 18.

Figura 19

Fósforo total (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM



La figura 19 presenta la distribución del fósforo total en las distintas estaciones y fechas de muestreo. Se observa que, durante la fecha M3, los valores registrados en

las cuatro estaciones se encontraron por encima del límite establecido en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, en la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, subcategoría E2: Ríos (Costa y Sierra).

4.1.5. Parámetros físicos

4.1.5.1. Conductividad

Los valores de conductividad fueron determinados mediante el método electrométrico en las diferentes estaciones y fechas de muestreos. Los resultados se presentan en la tabla 23. Se observa una fluctuación significativa entre los valores de conductividad a lo largo de las diferentes estaciones y fechas de muestreo evaluadas (p-value<0,05) (ver anexos 4 y 19). El valor mínimo registrado fue de 81,10 µS/cm en la estación RHuat-01 durante el muestreo M4, mientras que el valor máximo fue de 397,93 µS/cm en la estación RHuat-04 durante el muestreo M1.

Tabla 23

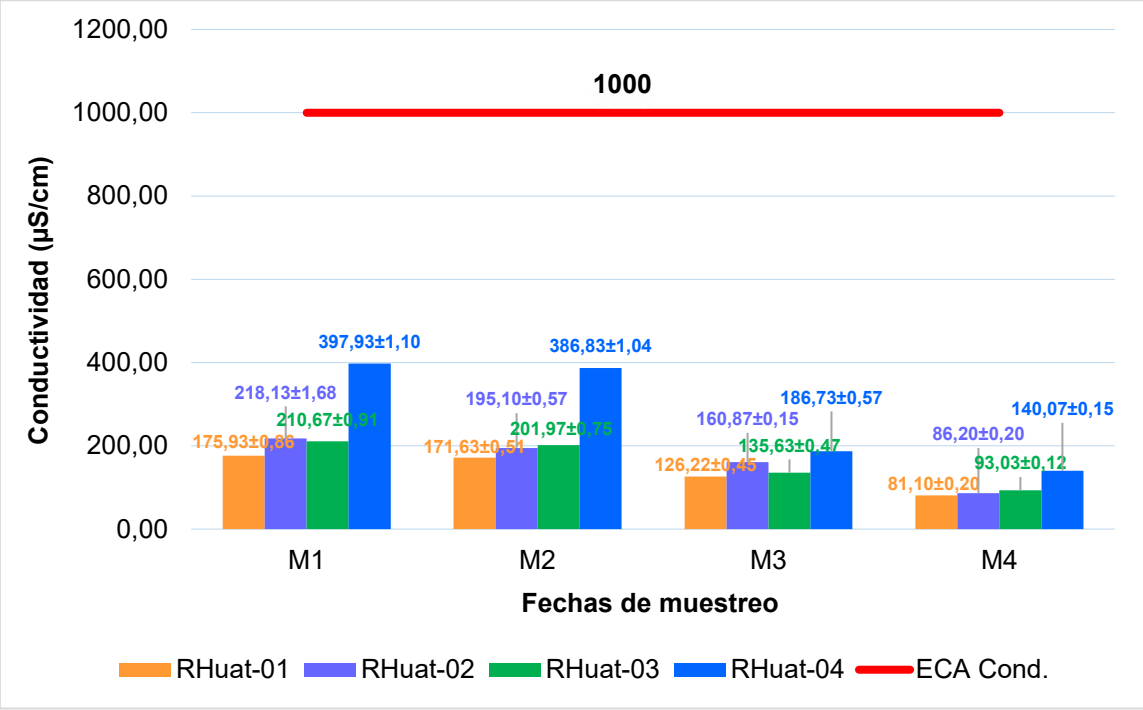
Conductividad (µS/cm) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM

Estación de muestreo	M1[a]			M2[a]			M3[b]			M4[c]		
	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s
RHuat-01[A]	175,93	±	0,86	171,63	±	0,51	126,22	±	0,45	81,10	±	0,20
RHuat-02[A]	218,13	±	1,68	195,10	±	0,57	160,87	±	0,15	86,20	±	0,20
RHuat-03[A]	210,67	±	0,91	201,97	±	0,75	135,63	±	0,47	93,03	±	0,12
RHuat-04[B]	397,93	±	1,10	386,83	±	1,04	186,73	±	0,57	140,07	±	0,15
Conductividad - ECA para agua Categoría 4(E2: Ríos)												
Costa y sierra	1000			1000			1000			1000		
$\bar{x}$ máximo	397,93			386,83			186,73			140,07		
$\bar{x}$ mínimo	175,93			171,63			126,22			81,10		

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; $\bar{x}$ es la media; S es la desviación estándar, letras mayúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las estaciones de muestreo; letras minúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las fechas de muestreo, estas fueron evaluadas a través del LSD, con α = 5%. Los cálculos se visualizan en el Anexo 19.

Figura 20

Conductividad (µS/cm) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM



En la figura 20 se presenta la distribución de los valores de conductividad registradas en las diferentes estaciones y fechas de muestreo. Asimismo, se incluye el valor límite de 1000 µS/cm establecido para este parámetro en los ECA para Agua, Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, lo que permite comparar los resultados obtenidos con el límite de referencia establecido.

Este parámetro refleja la capacidad del agua para permitir el paso de la electricidad, que depende del número de iones presentes, su concentración, movilidad, estado de oxidación y proporciones relativas, así como de la temperatura del agua (Eaton, 2017). La conductividad eléctrica está directamente vinculada a la concentración de sólidos disueltos, principalmente compuestos iónicos como el calcio y el magnesio; valores altos pueden indicar la incorporación de sales a lo largo del recorrido de las fuentes de agua (Aveiga et al., 2019). Asimismo, otros factores como la cobertura vegetal, los usos del suelo y los vertidos contaminantes influyen en los niveles de conductividad de las aguas fluviales.

4.1.5.2. Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales (SST), se determinaron mediante el método gravimétrico, y los resultados obtenidos se presentan en la tabla 24. Se encontraron diferencias significativas tanto entre las estaciones como entre las fechas de muestreo (p-value<0,05) (ver anexos 4 y 20). Los valores de SST oscilaron entre 6,07 mg/L, registrado en la estación RHuat-01 durante el muestreo M1, y 114,03 mg/L, registrado en la estación RHuat-04 en la fecha de muestreo M4.

Tabla 24

Sólidos suspendidos totales (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM

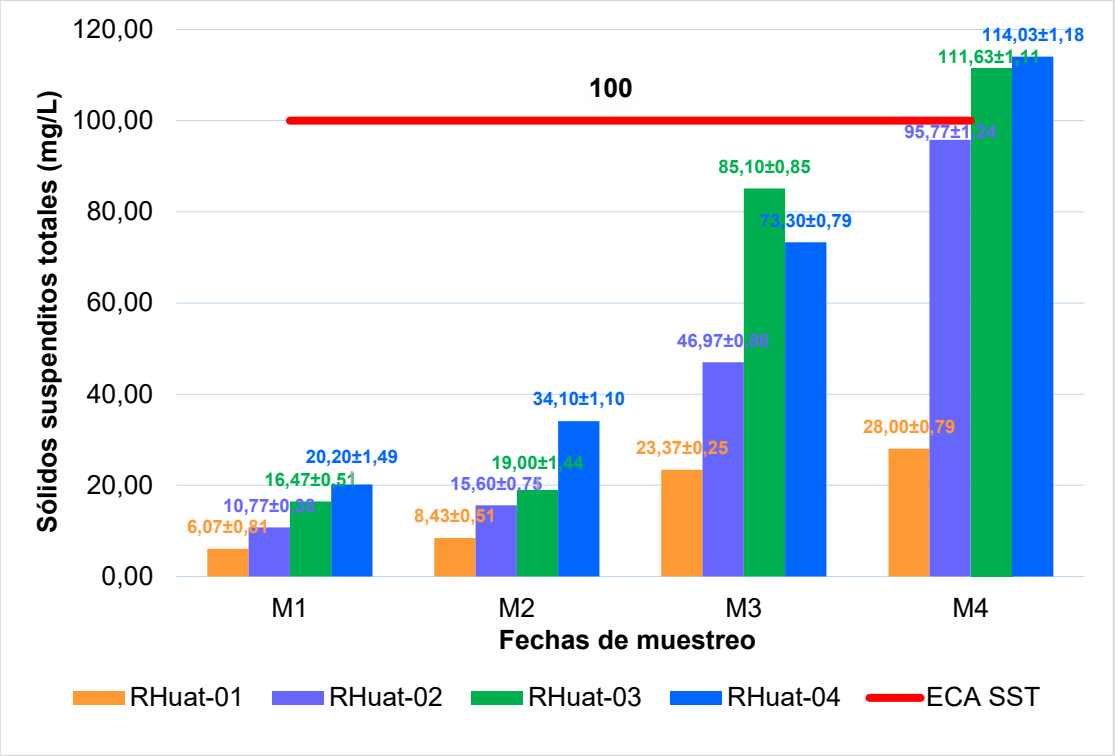
Estación de muestreo	M1[a]			M2[a]			M3[b]			M4[c]		
	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s
RHuat-01[A]	6,07	±	0,81	8,43	±	0,51	23,37	±	0,25	28,00	±	0,79
RHuat-02[B]	10,77	±	0,38	15,60	±	0,75	46,97	±	0,86	95,77	±	1,24
RHuat-03[C]	16,47	±	0,51	19,00	±	1,44	85,10	±	0,85	111,63	±	1,11
RHuat-04[C]	20,20	±	1,49	34,10	±	1,10	73,30	±	0,79	114,03	±	1,18
Sólidos suspendidos totales - ECA para agua Categoría 4(E2: Ríos)												
Costa y sierra	≤100			≤100			≤100			≤100		
$\bar{x}$ máximo	20,20			34,10			85,10			114,03		
$\bar{x}$ mínimo	6,07			8,43			23,37			28,00		

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; $\bar{x}$ es la media; S es la desviación estándar, letras mayúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las estaciones de muestreo; letras minúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las fechas de muestreo, estas fueron evaluadas a través del LSD. con α = 5%. Los cálculos se visualizan en el Anexo 20.

La figura 21, muestra el comportamiento dinámico de los resultados de los sólidos suspendidos totales en las diferentes estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas, se observa que valores mínimos (6,07; 8,43; 23,37; 28,00) mg/L en RHuat-01 para todas las fechas de muestreo; y los valores máximos (20,20; 34,10; 114,03) mg/L en RHuat-04 para las fechas de muestreo M1, M2 y M4; asimismo 85,10 mg/L (RHuat-03, M3). Asimismo, se visualiza el valor límite de ≤ 100 mg/L establecido para este parámetro en los ECA para Agua, Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, lo que permite comparar los resultados obtenidos con el límite de referencia establecido.

Figura 21

Sólidos suspendidos totales (mg/L) en las estaciones y fechas de muestreo, ECA para agua categoría 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM



4.1.6. Índices de contaminación (ICO's)

En esta investigación se determinaron cinco índices de contaminación de agua: el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), índice de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS), índice trófico (ICOTRO) y el índice de contaminación por pH (ICOpH). Estos índices se calcularon y evaluaron tanto espacial como temporalmente, lo que permitió conocer su comportamiento en las diferentes estaciones de muestreo y fechas consideradas en el área de estudio.

4.1.6.1. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Para determinar el ICOMO en las diferentes estaciones y fechas de muestreo, se utilizó la ecuación 1 (ver anexo 9), que considera los índices correspondientes a DBO_5, coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno. Los resultados

obtenidos se presentan en la tabla 25. El análisis estadístico evidencio que existen diferencias significativas tanto entre estaciones y fechas de muestreo (p-value<0,05) (ver anexo 21).

El valor más alto del ICOMO fue de 0,334, registrado en la estación RHuat-04 durante la fecha M4; mientras que el valor más bajo fue de 0,080 registrado en RHuat-02 en la fecha M1.

Tabla 25

Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) en las estaciones y fechas de muestreo

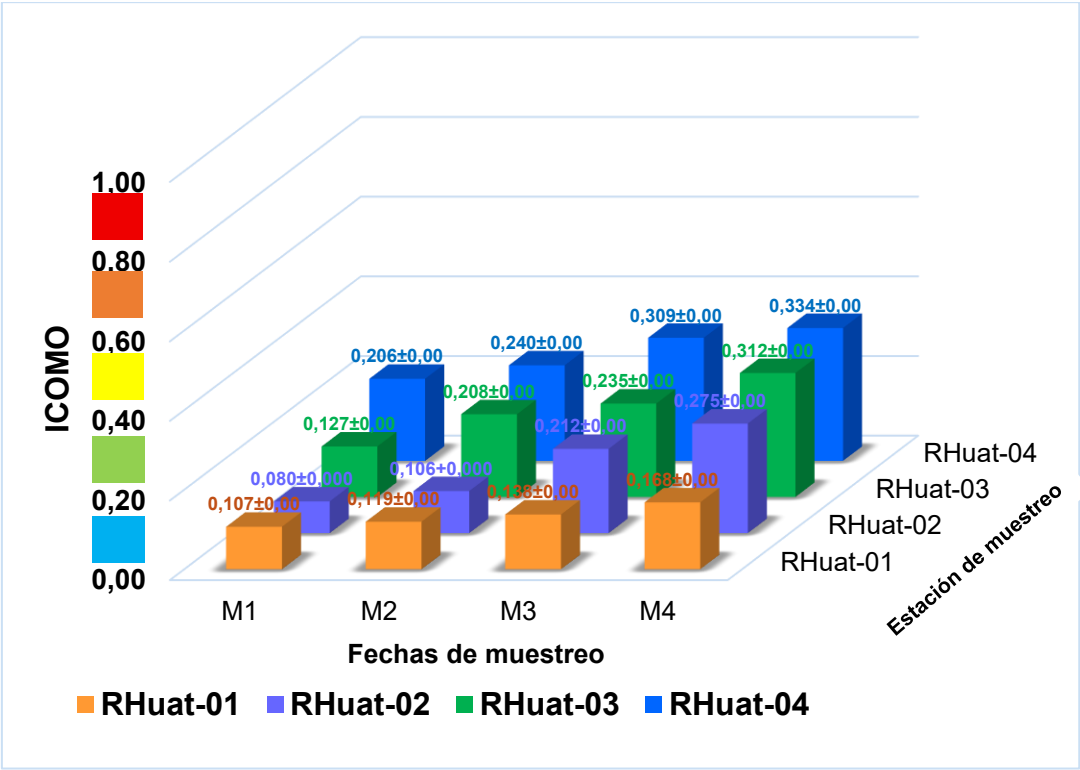
Estación de muestreo	M1[a]			M2[a]			M3[b]			M4[c]		
	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s
RHuat-01[A]	0,107	±	0,00	0,119	±	0,00	0,138	±	0,00	0,168	±	0,00
RHuat-02[B]	0,080	±	0,00	0,106	±	0,00	0,212	±	0,00	0,275	±	0,00
RHuat-03[C]	0,127	±	0,00	0,208	±	0,00	0,235	±	0,00	0,312	±	0,00
RHuat-04[D]	0,206	±	0,00	0,240	±	0,00	0,309	±	0,00	0,334	±	0,00
Valor promedio	0,130			0,168			0,223			0,272		
Rango	0,0-0,2			0,0-0,2			0,2-0,4			0,2-0,4		
Grado de contaminación	**Ninguna**			**Ninguna**			**Baja**			**Baja**		

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; $\bar{x}$ es la media; S es la desviación estándar, letras mayúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las estaciones de muestreo; letras minúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las fechas de muestreo, estas fueron evaluadas a través del LSD, con α = 5%. Los cálculos se visualizan en el Anexo 21. Los cálculos del ICOMO se visualizan en el Anexo 5.

En la figura 22 se puede observar que los valores del ICOMO presentaron un comportamiento espacial creciente entre las estaciones en las diferentes fechas evaluadas. Durante M1, los valores se incrementaron de 0,107 en RHuat-01 a 0,206 en RHuat-04; en M2, fluctuaron de 0,119 a 0,240; mientras que en M3, se incrementaron de 0,138 a 0,309 y finalmente durante M4, los valores oscilaron entre 0,168 en RHuat-01 y 0,334 en RHuat-04.

Figura 22

Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) en las estaciones y fechas de muestreo



4.1.6.2. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Para determinar el ICOMI se aplicó la ecuación 2 (ver anexo 9), relacionando para su cálculo los parámetros fisicoquímicos de conductividad, dureza y alcalinidad. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 26. Al comparar las estaciones y las fechas de muestreo, se encontró una diferencia significativa (p-value<0,05), según los resultados del análisis estadístico (ver anexo 22). El valor más bajo fue de 0,125, registrado en la estación RHuat-01 durante la fecha M4, mientras que el valor más alto alcanzo 0,867 en RHuat-04 durante la fecha M1.

Tabla 26

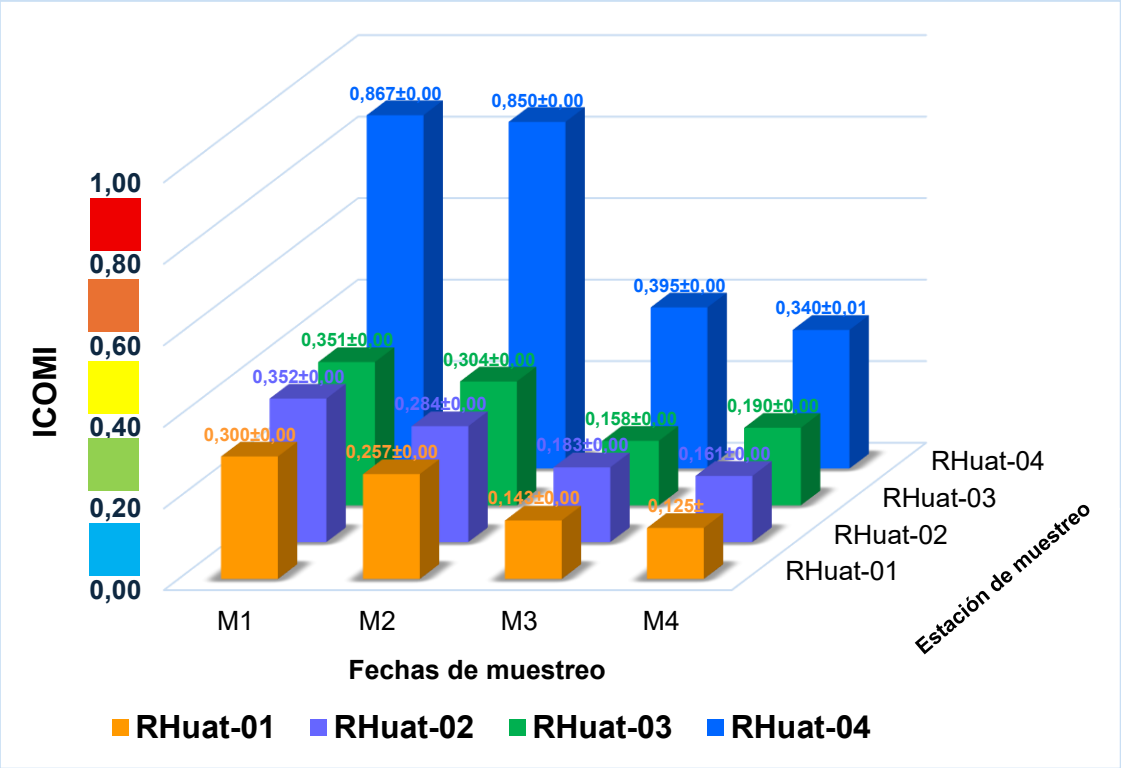
Índice de contaminación por mineralización (ICOMI) en las estaciones y fechas de muestreo

Estación de muestreo	M1[a]			M2[b]			M3[b]			M4[c]		
	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s
RHuat-01[A]	0,300	±	0,00	0,257	±	0,00	0,143	±	0,00	0,125	±	0,00
RHuat-02[A]	0,352	±	0,00	0,286	±	0,00	0,183	±	0,00	0,161	±	0,00
RHuat-03[A]	0,351	±	0,00	0,304	±	0,00	0,158	±	0,00	0,190	±	0,00
RHuat-04[B]	0,867	±	0,00	0,850	±	0,00	0,395	±	0,00	0,340	±	0,01
Valor promedio	0,467			0,424			0,220			0,204		
Rango	0,4-0,6			0,4-0,6			0,2-0,4			0,2-0,4		
Grado de contaminación	**Media**			**Media**			**Baja**			**Baja**		

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; $\bar{x}$ es la media; S es la desviación estándar, letras mayúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las estaciones de muestreo; letras minúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las fechas de muestreo, estas fueron evaluadas a través del LSD, con α = 5%. Los cálculos se visualizan en el Anexo 22. Los cálculos del ICOMI se visualizan en el Anexo 6.

Figura 23

Índice de contaminación por mineralización (ICOMI) en las estaciones y fechas de muestreo



En la figura 23 se presenta la distribución de los valores del ICOMI en las diferentes estaciones y fechas de muestreo. Se observa que existe una variación

diferenciada entre estaciones y fechas de muestreo; siendo la estación RHuat-04 la que presento los valores más altos de ICOMI durante todas las fechas de muestreo.

4.1.6.3. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

Para la determinación del ICOSUS en las distintas estaciones y fechas de muestreo, se aplicó la ecuación 3 (ver anexo 10), considerando los valores de sólidos suspendidos totales. Los resultados se presentan en la tabla 27, donde se muestra una variación gradual y significativa entre las estaciones y fechas evaluadas (p-value<0,05), según el análisis estadístico (ver anexo 23). Los valores del ICOSUS oscilaron entre 0,00 registrado en RHuat-01 durante M1 y 0,322 correspondiente a RHuat-04 durante M4.

Tabla 27

Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) en las estaciones y fechas de muestreo

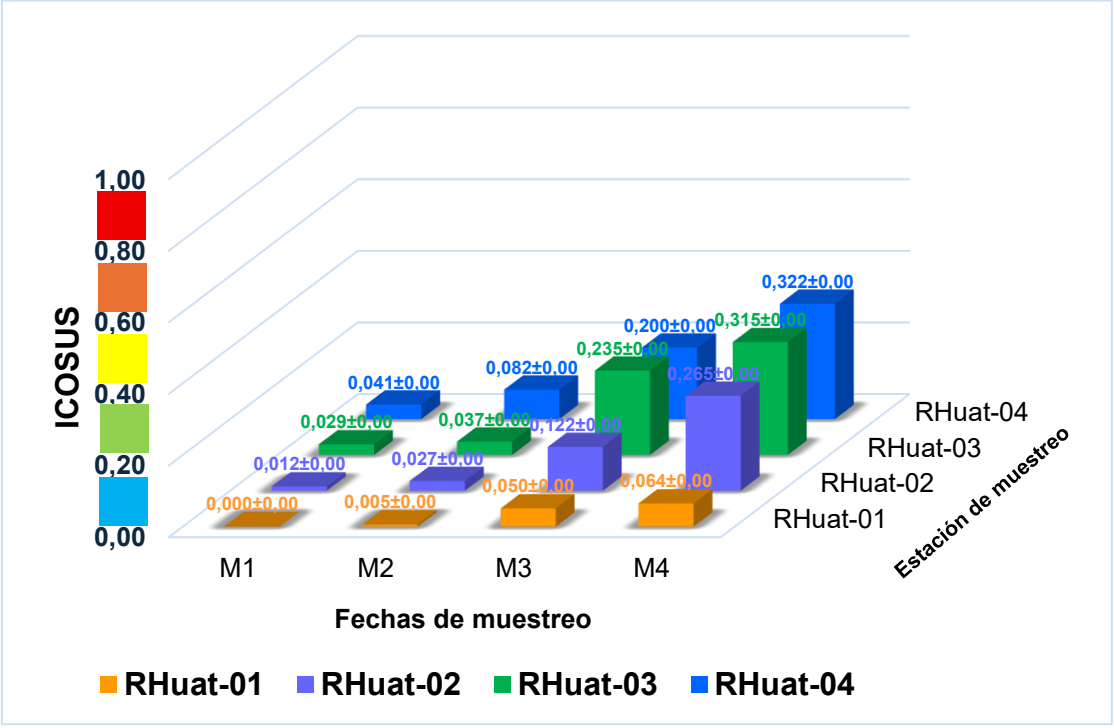
Estación de muestreo	M1[a]			M2[a]			M3[b]			M4[c]		
	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s
RHuat-01[A]	0,000	±	0,00	0,005	±	0,00	0,050	±	0,00	0,064	±	0,00
RHuat-02[B]	0,012	±	0,00	0,027	±	0,00	0,121	±	0,00	0,267	±	0,00
RHuat-03[C]	0,029	±	0,00	0,037	±	0,00	0,235	±	0,00	0,315	±	0,00
RHuat-04[C]	0,041	±	0,00	0,082	±	0,00	0,200	±	0,00	0,322	±	0,00
Valor promedio	0,021			0,038			0,152			0,242		
Rango	0,0-0,2			0,0-0,2			0,0-0,2			0,2-0,4		
Grado de contaminación	**Ninguna**			**Ninguna**			**Ninguna**			**Baja**		

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; $\bar{x}$ es la media; S es la desviación estándar, letras mayúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las estaciones de muestreo; letras minúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las fechas de muestreo, estas fueron evaluadas a través del LSD, con α = 5%. Los cálculos se visualizan en el Anexo 23. Los cálculos del ICOSUS se visualizan en el Anexo 7.

Se entiende por ICOSUS al indicador que mide las partículas sólidas pequeñas en suspensión en diversos tipos de aguas, incluyendo cuerpos naturales, efluentes y aguas residuales (EPA, 2016). Estas partículas permiten identificar la presencia de vertimientos provenientes de procesos industriales, residuos de escorrentías, procesos erosivos, disposición de materiales sólidos, entre otras fuentes (González, 2017).

Figura 24

Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) en las estaciones y fechas de muestreo



En la figura 24 se presenta la distribución de los valores del Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) en las diferentes estaciones y fechas de muestreo. Se observa que los valores más bajos corresponden a la estación RHuat-01, con registros de 0,00; 0,005; 0,050 y 0,064, los cuales corresponden a un grado de contaminación clasificado como “ninguna”. Por otro lado, los valores más altos se registraron en la estación RHuat-04, con valores de 0,04; 0,082; 0,200 y 0,322, correspondientes en promedio a un grado de contaminación “baja”. Asimismo, se aprecia un incremento progresivo de los valores del ICOSUS conforme se avanza desde las estaciones ubicadas aguas arriba hacia aquellas situadas aguas abajo, lo que evidencia una mayor presencia de sólidos suspendidos en los sectores inferiores del tramo evaluado.

4.1.6.4. Índice de contaminación trófica (ICOTRO)

El índice de contaminación se determinó a partir de la concentración de fósforo total (ver anexo 8). De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 28, se evidencio diferencia significativa entre las estaciones y fechas evaluadas (p-value<0,05), según el análisis estadístico (ver anexo 24). El valor mínimo del ICOTRO fue de 0,01, registrado en la estación RHuat-01 durante la fecha de muestreo M1, el cual correspondió a un sistema clasificado como oligotrófico. En contraste, el valor máximo fue de 0,10, obtenido en la estación RHuat-03 durante la fecha M3, el cual correspondió a un sistema eutrófico.

Tabla 28

Índice de contaminación trófica (ICOTRO) en las estaciones y fechas de muestreo

Estación de muestreo	M1[a]	M2[b]	M3[c]	M4[a]
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
RHuat-01[A]	0,010	0,068	0,073	0,028
RHuat-02[AB]	0,040	0,044	0,097	0,026
RHuat-03[B]	0,057	0,056	0,101	0,028
RHuat-04[A]	0,033	0,060	0,060	0,032
Valor promedio	0,035	0,057	0,083	0,029
Rango	0,02-1,00	0,02-1,00	0,02-1,00	0,02-1,00
Categoría	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; $\bar{x}$ es la media; S es la desviación estándar, letras mayúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las estaciones de muestreo; letras minúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las fechas de muestreo, estas fueron evaluadas a través del LSD, con α = 5%. Los cálculos se visualizan en el Anexo 24. Los cálculos del ICOTRO se visualizan en el Anexo 8.

4.1.6.5. Índice de contaminación por pH (ICOpH)

Para la determinación del ICOpH en las distintas estaciones y fechas de muestreo, se aplicó la ecuación 4 (ver anexo 9), la cual emplea los valores del potencial de hidrógeno. Los resultados se presentan en la tabla 29, se visualiza que hay diferencia significativa entre las estaciones y las fechas de muestreo evaluados (p-value<0,05) (ver anexo 25). Los valores obtenidos oscilaron entre 0,047 (RHuat-01, M4) y 0,737 (RHuat-02, M2).

Tabla 29

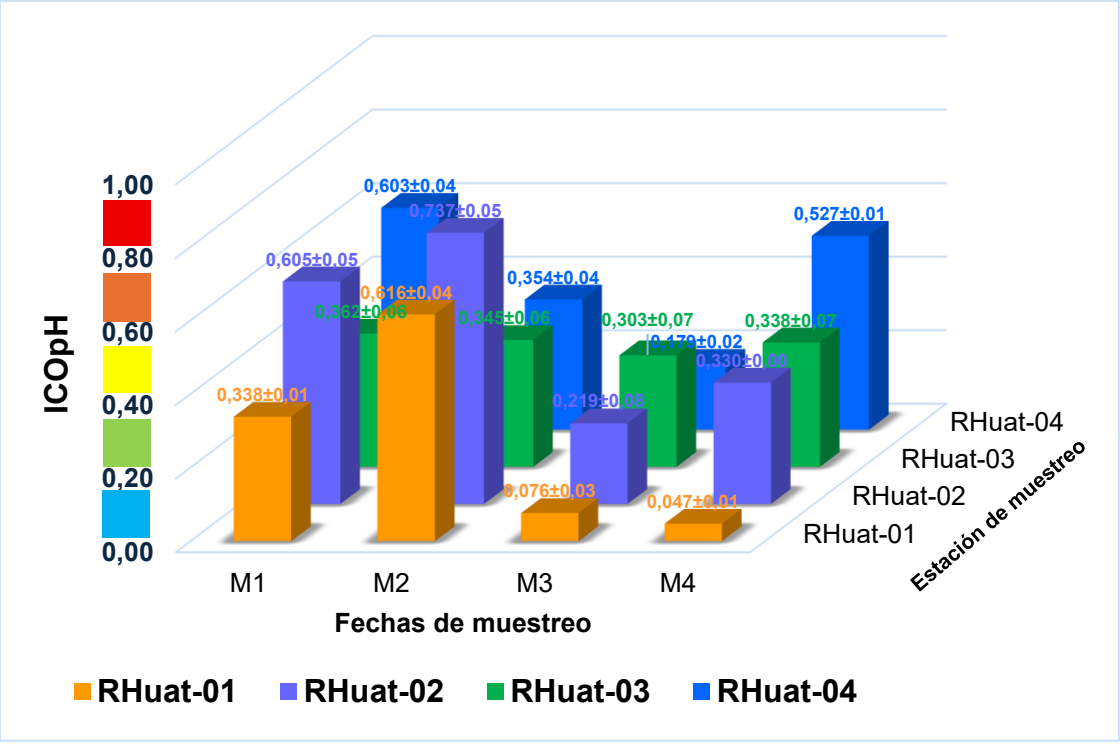
Índice de contaminación por pH (ICOpH) en las estaciones y fechas de muestreo

Estación de muestreo	M1[a]			M2[a]			M3[b]			M4[c]		
	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s	$\bar{x}$	±	s
RHuat-01[A]	0,338	±	0,01	0,616	±	0,04	0,076	±	0,03	0,047	±	0,01
RHuat-02[B]	0,605	±	0,05	0,737	±	0,05	0,219	±	0,08	0,330	±	0,00
RHuat-03[AC]	0,362	±	0,06	0,345	±	0,06	0,303	±	0,07	0,338	±	0,07
RHuat-04[BC]	0,603	±	0,04	0,354	±	0,04	0,179	±	0,02	0,527	±	0,01
Valor promedio	0,477			0,513			0,194			0,310		
Rango	0,4-0,6			0,4-0,6			0,0-0,2			0,2-0,4		
Grado de contaminación	**Media**			**Media**			**Ninguna**			**Baja**		

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; $\bar{x}$ es la media; S es la desviación estándar, letras mayúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las estaciones de muestreo; letras minúsculas iguales significan que no hay diferencia significativa entre las fechas de muestreo, estas fueron evaluadas a través del LSD, con α = 5%. Los cálculos se visualizan en el Anexo 25. Los cálculos del ICOpH se visualizan en el Anexo 9.

Figura 25

Índice de contaminación por pH (ICOpH) en las estaciones y fechas de muestreo



La figura 25 ilustra la distribución de los resultados del ICOpH a lo largo de las diferentes estaciones y fechas de muestreo, destacándose los valores más elevados se registraron en RHuat-04 (0,603; 0,354; 0,179 y 0,527) en todas las fechas evaluadas.

Tabla 30

Variación espacial de los ICO's del río Huatatas durante la temporada de estudio

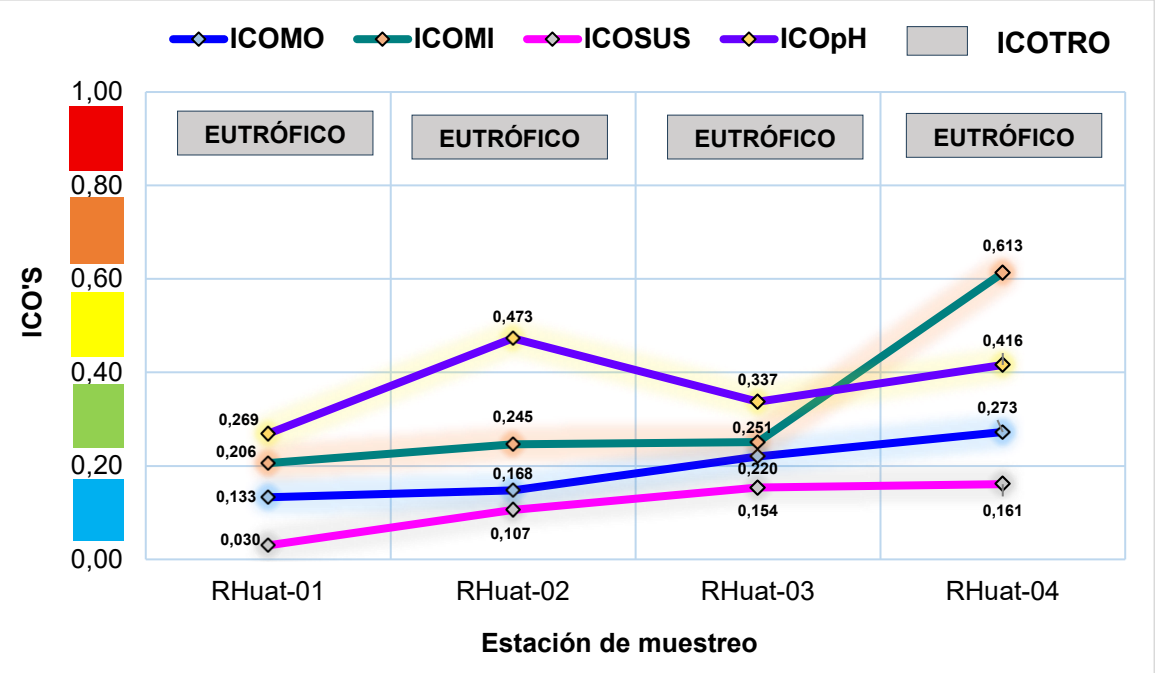
Estación de muestreo	Índices de contaminación (ICO´s)									
	ICOMO		ICOMI		ICOSUS		ICOTRO		ICOpH	
RHuat-01	0,133	Ninguna	0,206	Baja	0,030	Ninguna	0,045	EUTRÓFICO	0,269	Baja
RHuat-02	0,168	Ninguna	0,245	Baja	0,107	Ninguna	0,052	EUTRÓFICO	0,473	Media
RHuat-03	0,220	Baja	0,251	Baja	0,154	Ninguna	0,061	EUTRÓFICO	0,337	Baja
RHuat-04	0,273	Baja	0,613	Alta	0,161	Ninguna	0,046	EUTRÓFICO	0,416	Media

En la tabla 30 se presenta un resumen de los valores obtenidos para los diferentes Índices de Contaminación (ICO´s) en cada una de las estaciones de muestreo del río Huatatas, correspondientes a la temporada de estiaje. Se observó con respecto al ICOMO los resultados fluctuaron entre 0,133 en la estación RHuat-01, correspondiente a un grado de contaminación "ninguna" (azul) y 0,273 en RHuat-04, con un grado de contaminación "baja" (verde). Para el ICOMI los resultados oscilaron entre 0,206 en RHuat-01, con grado de contaminación "baja" (verde) y 0,613 en RHuat-04; lo que indica un grado de contaminación "alta" (naranja).

En cuanto al ICOSUS los valores fluctuaron entre 0,030 en RHuat-01 y 0,161 en RHuat-04 ambos indican un grado de contaminación "ninguna" (azul). Para el ICOTRO todas las estaciones evaluadas presentaron un sistema "eutrófico". Finalmente, los resultados del ICOpH fluctuaron entre 0,269 en RHuat-01 con un grado de contaminación "baja" (verde) y 0,473 en RHuat-02) el cual indica un grado de contaminación "media" (amarillo).

Figura 26

Comportamiento espacial de los ICO's del río Huatatas



La figura 26 presenta la interacción del valor promedio de los distintos índices de contaminación evaluados en esta investigación para cada estación de muestreo, durante la temporada de estiaje en las aguas del río Huatatas.

En cuanto al ICOMO, se evidencia una progresión creciente en el grado de contaminación desde la primera estación (RHuat-01) hasta la cuarta (RHuat-04). El ICOMI presenta un comportamiento similar, evidenciando también un aumento progresivo en los niveles de contaminación a lo largo de las estaciones. De igual manera, el ICOSUS muestra una tendencia ascendente en el grado de contaminación desde RHuat-01 hasta RHuat-04.

En cuanto al ICOTRO, todas las estaciones de muestreo se clasifican dentro de un sistema "eutrófico", lo cual indica altos niveles de nutrientes en el agua, asociados a una posible contaminación por materia orgánica y compuestos nitrogenados o fosforados. Finalmente, el índice ICOpH revela un patrón variable: el grado de contaminación aumenta de RHuat-01 a RHuat-02, disminuye en RHuat-03, y vuelve a incrementarse en RHuat-04.

Tabla 31

Caracterización y contaminación de las estaciones de muestreo del río Huatatas según los ICO's.

Estación de muestreo	Detalles de ubicación	Caracteriscas de la zona de estudio	Tipo de contaminación
RHuat-01	Se ubico a 150 metros aguas arriba del puente denominado Pucara.	Se caracteriza por la presencia de gran variedad de fauna y flora silvestre, además se pudo observar la existencia de peces y renacuajos.	Contaminación baja por mineralización (ICOMI), presenta un sistema "eutrófico"
RHuat-02	Ubicado a 200 metros aguas abajo del puente Santa Rosa (Se encuentra a 2792.48 m de RHuat-01)	Se pudo observar que hay presencia de áreas de cultivos de frutales, legumbres y verduras. Se observo actividades de lavado de ropas y vehículos.	Contaminación media por alteración del potencial de hidrógeno (ICOpH), presenta un sistema "eutrófico"
RHuat-03	Se encuentra ubicado a 150 metros aguas abajo del puente Huatatas (Se encuentra a 1386.99 m de RHuat-02)	Existe un vivero municipal (aproximadamente a 937 m aguas arriba de la estación de muestreo). Se observo actividades de lavado de ropas y vehículos.	Contaminación baja por mineralización (ICOMI), presenta un sistema "eutrófico"
RHuat-04	Ubicado a 750 metros antes del punto de encuentro con el rio Huatatas y el rio Alameda (Se encuentra a 3226.47 m de RHuat-03)	Se observó la existencia de una cantera informal de extracción de materiales a una distancia de 150 metros aguas arriba de la estación de muestreo; asimismo la presencia de recreos campestres. Se observo actividades de lavado de ropas y vehículos.	Contaminación alta por mineralización (ICOMI), presenta un sistema "eutrófico"

4.1.7. Correlación de parámetros e índices de contaminación (ICO's)

Las correlaciones se realizaron con la finalidad de determinar el grado de asociación entre los parámetros microbiológicos, químicos y físicos, así como entre los índices de contaminación (ICO's) evaluados en el agua del río Huatatas durante la temporada de estiaje, comprendida entre octubre y diciembre de 2024. En esta investigación se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, debido a que permite determinar la intensidad y la dirección de la relación lineal entre dos variables cuantitativas. Para evaluar la significancia estadística de las correlaciones obtenidas, se

estableció un nivel de significancia de α = 0,05. Por ello, los valores de p ≤ 0,05 se consideraron estadísticamente significativos, mientras que los valores de p > 0,05 indicaron que no se encontró una relación lineal estadísticamente significativa.

La matriz de correlación permitió identificar las relaciones positivas y negativas entre los parámetros evaluados y observar si sus variaciones siguieron un comportamiento relacionado durante el periodo de estudio. Los coeficientes cercanos a + 1 representaron una relación positiva fuerte, mientras que los valores próximos a − 1 indicaron una relación negativa fuerte. En cambio, los coeficientes cercanos a 0 reflejaron una relación lineal débil.

En la figura 27 se presenta la matriz de correlación de Pearson entre los parámetros microbiológicos, químicos y físicos evaluados en el agua del río Huatatas durante la temporada de estiaje. Por otro lado, en la figura 28 se muestra la correlación entre los índices de contaminación (ICO's), considerando los resultados obtenidos en las diferentes estaciones y fechas de muestreo.

Figura 27

Matriz de correlación de Pearson entre parámetros microbiológicos, químicos y físicos del río Huatatas

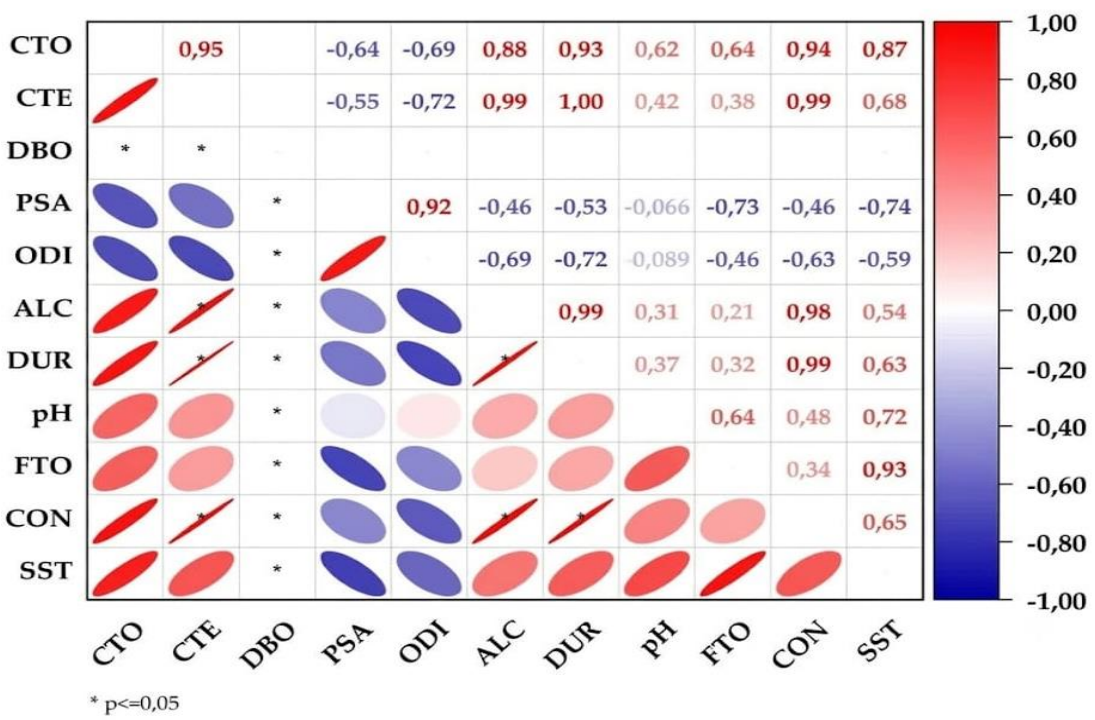
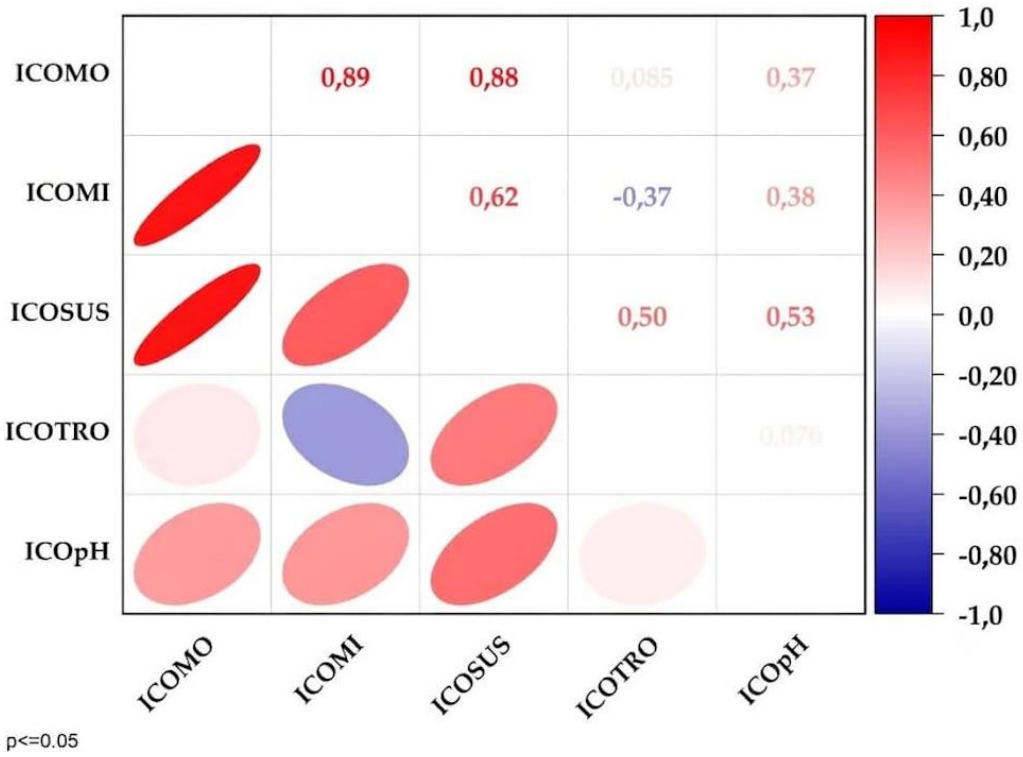


Figura 28

Matriz de correlación de Pearson entre los índices de contaminación (ICO's) del río Huatatas



4.2. Discusión

4.2.1. Parámetros microbiológicos, químicos y físicos

4.2.1.1. Parámetros microbiológicos

Los coliformes totales son indicadores de contaminación microbiológica en aguas superficiales, ya que su presencia puede estar asociada al ingreso de aguas residuales domésticas y residuos de origen animal. En particular, la presencia de Escherichia coli permite identificar una posible contaminación fecal reciente.

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 14, se observó un incremento progresivo de los valores tanto espacial como temporalmente, desde 33 NMP/100 mL en RHuat-01 durante M2 hasta 5400 NMP/100 mL en RHuat-04 durante M4. Resultados similares fueron reportados por Gonzáles (2017), Béjar & Mendoza (2018) y Ramos (2021). El incremento registrado en RHuat-04, podría estar relacionado a la presencia de recreos y casas de campo en el área circundante a las estaciones de muestreo, los cuales vierten sus aguas residuales directamente al cauce del río sin

tratamiento alguno. Asimismo, se identificó la presencia de residuos sólidos de origen orgánico, derivados de las actividades recreativas, los cuales son arrojados en las riberas del río. En conjunto, estas condiciones pueden favorecer el incremento de microorganismos indicadores y, potencialmente, de bacterias patógenas en el cuerpo de agua, afectando su calidad microbiológica. Por tanto, los resultados obtenidos permiten evidenciar una mayor carga microbiológica hacia la parte baja del área evaluada y resaltan la necesidad de mantener el seguimiento de la calidad microbiológica del río Huatatas.

Asimismo, en la tabla 15 se presentan los valores obtenidos de coliformes termotolerantes obtenidos en las diferentes estaciones y fechas de muestreo. En RHuat-01 y RHuat-02 se obtuvieron concentraciones relativamente bajas, con un valor mínimo de 4,5 NMP/100 mL. Sin embargo, estos valores aumentaron progresivamente aguas abajo, alcanzando la mayor concentración durante M3, con 1300 NMP/100 mL. Este incremento gradual, indica un incremento de contaminación microbiológica por la presencia de bacterias que pueden ser de origen natural, propias del suelo y el agua; como también por la presencia de heces de animales por el pastoreo, arrojo de residuos sólidos de origen orgánico (Barrera et al., 2013). Esta condición se ve influenciada por la fácil accesibilidad a las áreas aledañas a las estaciones de muestreo, como RHuat-02, RHuat-03 y RHuat-04. Cabe resaltar que los picos más altos de coliformes termotolerantes se presentan en RHuat-04, lo cual se debe también a la presencia de actividades antropogénicas que vierten aguas residuales directamente al cauce del río, sin previo tratamiento.

A pesar de estos incrementos, los valores registrados en todas las estaciones y fechas de muestreo se mantuvieron por debajo del límite establecido por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, D.S. N° 004-2017-MINAM, para la Categoría 4, subcategoría E2: Ríos (Costa y Sierra), cuyo valor es de 2000 NMP/100 mL. Sin embargo, el seguimiento de la información de la presencia de estos microorganismos resulta necesario, ya que su elevada concentración puede representar un impacto

negativo relevante en la salud de la población y los animales que consumen o interactúan con este recurso hídrico.

4.2.1.2. Parámetros químicos

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) permite conocer la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para descomponer la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Los resultados se mostraron en la tabla 16, cuyos valores obtenidos, fueron inferiores a 2,6 mg/L, en todas las estaciones y fechas de muestreo. Este comportamiento se mantuvo tanto en el análisis espacial como temporal. Valores similares fueron reportados por Ramos (2021) en el río Chumbao, así como por Aronés, Véliz y Palomino (2018) en el estudio realizado sobre la calidad del agua del río Huatatas mediante el ICA, en la región Ayacucho. En cambio, los valores encontrados en el río Huatatas son considerablemente menores que los reportados por Jayo (2022) en el río Muyurina.

Al comparar estos resultados con los Estándares Nacional de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N° 004-2017-MINAM); para Categoría 4: Conservación del ambiente acuático E2: Ríos (Costa y sierra), se observa que los valores de DBO_5 se encuentran por debajo del límite establecido de 10 mg/L. Por lo tanto, para este parámetro, el agua del río Huatatas cumple con el estándar ambiental, presenta condiciones favorables respecto a la presencia de materia orgánica biodegradable. En este sentido Lozada-Vilca et al. (2019), señalan que las aguas superficiales, como los ríos, con bajo contenido de materia orgánica biodegradable son consideradas de buena calidad. Por el contrario, valores altos de DBO_5 reflejan una elevada concentración de materia orgánica que los microorganismos necesitan para llevar a cabo su descomposición. Este proceso puede provocar una disminución del oxígeno disuelto en el agua, lo cual afecta negativamente a la biodiversidad acuática y puede causar muerte de los organismos que requieren oxígeno para respirar.

Con respecto al oxígeno disuelto (mg/L), entendido como la cantidad de oxígeno presente y disponible en el agua, este parámetro constituye un indicador relevante para

evaluar las condiciones del ecosistema acuático y posibles alteraciones en la calidad del recurso hídrico. Los resultados se presentaron en la tabla 17, mientras que la figura 14 muestra el comportamiento espacial y temporal. En general, las concentraciones de oxígeno disuelto presentaron un comportamiento dinámico entre las estaciones y fechas de muestreo. La mayoría de los valores se encontró por encima del límite mínimo establecidos por el ECA para Agua (D.S. N° 004-2017-MINAM), Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, E2: Ríos (Costa y Sierra), correspondiente a ≥ 5 mg/L. Sin embargo, durante el muestreo M2 se registraron concentraciones de 4,87 mg/L en RHuat-03 y 4,98 mg/L en RHuat-04, valores ligeramente inferiores al límite establecido. Por otro lado, Jayo (2022) reportó valores de oxígeno disuelto por debajo del límite mínimo establecido por el ECA (≥5 mg/L) en los dos primeros puntos de muestreo del río Muyurina, lo que evidencia contaminación de las aguas por descargas residuales. En términos generales, estos resultados evidencian que las aguas del río Huatatas presentan condiciones favorables de oxigenación, lo cual fue corroborado por las observaciones en el trabajo campo, donde se evidencio la presencia de peces pequeños y renacuajos, especialmente en la estación RHuat-01. El oxígeno disuelto es un parámetro fundamental para evaluar las condiciones del ecosistema acuático y su capacidad para sustentar el desarrollo de organismos vegetales y animales. En general, concentraciones adecuadas de oxígeno disuelto se relacionan con condiciones favorables de calidad del agua, mientras que valores bajos pueden generar condiciones menos adecuadas para la supervivencia y desarrollo de los organismos acuáticos.

Los valores del porcentaje de saturación de oxígeno se presentaron en la tabla 18. En general, la mayoría de los resultados se encuentran en niveles de bueno a excelente para el desarrollo de la vida acuática, siendo el valor mínimo de 79,78 %, registrado en RHuat-03 durante M2. Estos resultados son similares a los reportados por Aronés, Véliz y Palomino (2018) en el río Huatatas y Ramos (2021) en el río Chumbao. Las variaciones observadas pueden estar relacionadas a diversos factores naturales y antropogénicos, los cuales influyen en la solubilidad, así como en la producción y el consumo de oxígeno disuelto. Entre estos factores se encuentran la turbulencia del

agua, la temperatura, las condiciones del cauce y la actividad fotosintética de los organismos acuáticos.

Por otro lado, en la estación RHuat-02 durante M1 se registró un valor de 100,88 %, correspondiente a una condición de sobresaturación. Este comportamiento puede presentarse en tramos del río con elevada turbulencia, donde el agua entra en mayor contacto con la atmósfera debido al flujo sobre rocas o cambios en el relieve. Asimismo, puede relacionarse con una intensa actividad fotosintética de las algas, que incrementa la producción de oxígeno, según lo señalado por el California State Water Resources Control Board (2025). El porcentaje de saturación de oxígeno constituye un indicador importante para evaluar la calidad del agua de un río y su capacidad para sostener la vida acuática. Según el Sistema Básico de Información Municipal de Colombia (SISBIM, 2016), una saturación de oxígeno del 80% o superior se considera adecuada para los organismos acuáticos, lo que indica una calidad del agua de buena a excelente. Por el contrario, niveles más bajos pueden señalar problemas o contaminación del recurso hídrico.

En cuanto a la alcalinidad de las aguas del río Huatatas, los resultados se presentaron en la tabla 18 y se muestran en la figura 16. Los valores máximos registrados en cada fecha de muestreo correspondieron a la estación RHuat-04, con concentraciones de 170,05; 160,11; 93,01 y 122,83 mg $CaCO_3$/L, correspondientes a M1, M2, M3 y M4. Asimismo, se evidenció un incremento gradual en los valores de alcalinidad hacia las estaciones ubicadas aguas abajo, comportamiento similar al reportado por Ramos (2021) en el río Chumbao. Esta variación puede estar asociada a diversos factores, como la química del agua y los elementos que la afectan, tales como la presencia de compuestos carbonatados, bicarbonatos e hidróxidos. También juega un papel importante la geología del área de influencia directa del río, incluyendo las interacciones con depósitos minerales, además de la influencia de la precipitación. En este sentido Jayo (2022) reportó valores menores de alcalinidad durante la época de estiaje, y un incremento muy notable durante la temporada de lluvias en las aguas del río Muyurina.

Shangguan et al. (2021) señalan que la alcalinidad total constituye un parámetro relevante para comprender los procesos biogeoquímicos y las características químicas de las aguas dulces. Además, este parámetro se encuentra relacionado con la capacidad del agua para amortiguar variaciones en el pH, por lo que su determinación permite evaluar las condiciones fisicoquímicas y la estabilidad química de los ecosistemas acuáticos. Asimismo, Pérez (2016) indica que las aguas con niveles bajos de alcalinidad son más vulnerables a la contaminación, debido a que presentan una menor capacidad para resistir cambios que provoquen reducciones en el pH. A partir de estas referencias, se puede concluir que las aguas del río Huatatas presentan una alcalinidad media, lo que indica una capacidad de amortiguación adecuada frente a variaciones del pH y condiciones que favorecen la estabilidad del medio acuático.

En cuanto a la dureza total, los resultados se mostraron en la tabla 20 y se muestran en la figura 17. En las estaciones RHuat-01, RHuat-02 y RHuat-03, los valores registrados durante las cuatro fechas de muestreo oscilaron entre 39,87 mg/L y 75,20 mg/L. En cambio, en la estación RHuat-04 se observó un incremento de la dureza total, principalmente durante los muestreos M1 y M2, con valores que variaron entre 84,28 mg/L y 119,29 mg/L. Estos resultados guardan relación con lo reportado por Jayo (2022) durante la época de estiaje en el río Muyurina, y con los hallazgos de Gamarra et al. (2018) en las aguas del río Utcubamba. En estado natural, la dureza del agua proviene principalmente de sales de magnesio y calcio. El agua se vuelve dura al atravesar formaciones geológicas que contienen minerales responsables de la dureza, los cuales se disuelven e incorporan al agua debido a su capacidad como solvente. La U.S. Geological Survey (2022) señala que la dureza total alude a la suma total de cationes metálicos, sin contar los metales alcalinos y el ion de hidrógeno.

Asimismo, la OMS (2022) señala que el agua dura tiende a ser alcalina, mientras que el agua blanda presenta un pH más ácido. En esta investigación, los valores de dureza del agua del río Huatatas oscilaron entre 39,87 mg/L y 119,29 mg/L, por lo que, de acuerdo con la clasificación empleada en la tabla 3, el agua del río Huatatas se encuentra dentro del rango de blanda a moderadamente dura. En términos generales,

durante el periodo de estudio predominó la condición de agua blanda en las estaciones ubicadas aguas arriba, mientras que hacia RHuat-04 se presentó una condición moderadamente dura. Esta variación indica cambios en la composición mineral del agua a lo largo del río Huatatas, posiblemente asociados con el aporte de calcio y magnesio provenientes de las características naturales de la cuenca y de los materiales incorporados al sistema durante su recorrido.

Los resultados del potencial de hidrógeno (pH) se presentaron en la tabla 21, mientras que su distribución espacio-temporal se pudo visualizar en la figura 18. Los valores registrados oscilaron entre 8,13 en la estación RHuat-01 durante el muestreo M4, y 9,31, registrado en la estación RHuat-02 para el muestreo M2. Esta variabilidad es comparable con los resultados reportados por Carrera et al. (2016) y la ANA (2022), y puede estar asociada tanto a factores naturales como a actividades antrópicas. Entre los principales factores que pueden modificar el pH se encuentran las características geológicas de las áreas circundantes, las fuentes de contaminación, la concentración de CO_2 atmosférico y la temperatura. Asimismo, Carrera et al. (2016) señalan que las variaciones de precipitación pueden influir en el comportamiento del pH.

De acuerdo con el Decreto Supremo Nº 004-2017-MINAM, que aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, en la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, subcategoría E2: Ríos (Costa y Sierra), el pH debe encontrarse entre 6,5 y 9,0 unidades. En los resultados obtenidos, la mayoría de los valores se encontraron en rango establecido; sin embargo, se identificaron cinco casos los que exceden el límite superior establecido (pH máx. = 9,0), como se detalla a continuación: 9,13 (RHuat-02, M1); 9,13 (RHuat-04, M1), 9,15 (RHuat-01, M2); 9,31 (RHuat-02, M2) y 9,04 (RHuat-04, M4). Estos valores indican una ligera alcalinización del agua en ciertas estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas. La presencia de condiciones de alcalinidad puede deberse al uso de fertilizantes químicos, los cuales son arrastrados hacia el cauce del río por acción del viento, especialmente considerando la presencia de actividades agrícolas en las riberas del río, Ocasio (2008). Asimismo, la variación del pH podría estar relacionada con múltiples factores, como el vertimiento de

aguas residuales sin tratamiento (RHuat-04), el uso de sustancias agroquímicas y la utilización de detergentes durante el lavado de ropa y vehículos. Estas actividades han sido observadas particularmente en las tres últimas estaciones de muestreo del río Huatatas.

Como se mencionó anteriormente, el pH del río es un indicador dinámico que refleja la influencia de diversos elementos, tanto naturales como de origen humano. Mantener un pH equilibrado es indispensable para proteger la salud del ecosistema acuático y asegurar la calidad del agua. Por ello, el seguimiento de este parámetro resulta importante para identificar posibles cambios en las condiciones fisicoquímicas del ecosistema acuático y su relación con las actividades naturales y antrópicas desarrolladas en el área de estudio.

En cuanto al fosforo total, los resultados se presentaron en la tabla 22, Se observó una considerable variabilidad en los valores, con un máximo de 0,101 mg/L registrado en las estaciones RHuat-03 durante el muestreo M3, y un mínimo de 0,010 mg/L en la estación RHuat-01 durante el muestreo M1. Valores comparables han sido reportados por Aronés, Véliz y Palomino (2018), Belizario (2019) y Ramos (2021). Es importante destacar que, en todas las estaciones, los niveles más elevados de fósforo total se presentaron en la fecha M3, indicando una tendencia común en ese periodo.

En cuanto a la normativa del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, que aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, en la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, subcategoría E2: Ríos (Costa y Sierra), se observa que los valores como 0,053 mg/L en la fecha M1 y 0,063 mg/L en RHuat-01, 0,052 mg/L en RHuat-03 y 0,056 en RHuat-04 en la fecha M2; y de manera particular en la fecha M3 para todas las estaciones de muestreo (0,073; 0,097; 0,101 y 0,094) mg/L respectivamente, superan el límite permitido ECA: Fósforo total (0,05mg/L). Esto indica un incumplimiento de la normativa vigente, valores altos de fósforo total en los ecosistemas acuáticos, puede estar relacionada con la proximidad de asentamientos humanos y sus actividades asociadas (como descargas domésticas, actividades

agrícolas o vertimientos industriales), las cuales alteran los parámetros fisicoquímicos del agua y pueden generar desequilibrios en el orden ecológico natural. Asimismo, bajos niveles de fósforo pueden ser indicativos de un agotamiento de nutrientes causado por una elevada actividad biológica. Por el contrario, un incremento en las concentraciones de fosfatos puede señalar la presencia de contaminación, ya sea por vertidos puntuales de detergentes domésticos e industriales, o por contaminación difusa asociada a actividades agrícolas y ganaderas (Moronta & Riverón, 2016). En el área de estudio, el fácil acceso facilitado por la presencia de puentes ha propiciado una considerable influencia de actividades antropogénicas, tales como el lavado de vehículos y ropa con productos químicos como detergentes, lo cual se refleja en los altos valores de fósforo total registrados**.**

4.2.1.3. Parámetros físicos

Los valores de la conductividad de presentan en tabla 23 y su distribución espacial y temporal se visualiza en la figura 20. Se observó que los valores más elevados se registraron durante los muestreos M1 y M2 en todas las estaciones. Los máximos valores, 397,93 µS/cm; 386,83 µS/cm; 186,73 µS/cm y 140,07 µS/cm, fueron medidos en la estación RHuat-04. Resultados similares fueron reportados por Ramos (2021) en el río Chumbao y Jayo (2022) en el río Muyurina. Asimismo, se identificó una tendencia creciente en la conductividad conforme las aguas avanzan hacia zonas más bajas del río, alcanzando los valores más elevados en RHuat-04, dicho incremento puede deberse tanto a causas naturales, como la geomorfología del área, como a influencias antropogénicas, particularmente la descarga directa de aguas residuales domésticas en el cauce, tal como ocurre en la estación RHuat-04.

De acuerdo con la normativa establecida en los ECA (D.S. N° 004-2017-MINAM) para agua, específicamente en la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, subcategoría E2: Ríos (Costa y Sierra), que establece como límite máximo 1000 µS/cm. Al comparar los resultados obtenidos con este valore de referencia, se observó que

todas las concentraciones registradas en las cuatro estaciones y fechas de muestreo se encontraron por debajo del estándar establecido.

En este sentido, los resultados de conductividad eléctrica no evidenciaron condiciones elevadas de sustancias disueltas y compuestos salinos en el periodo evaluado. Sin embargo, este parámetro debe interpretarse conjuntamente con los demás indicadores de calidad del agua.

Este resultado indica que las aguas del río Huatatas, no presentan una carga significativa de sólidos disueltos totales (SDT) ni de compuestos salinos, ya que la contaminación de las masas de agua superficiales como los ríos suele reflejarse en un aumento de los valores de conductividad eléctrica. Por lo tanto, se puede concluir que no hay indicios de que estas sustancias contaminen el río Huatatas desde el punto de vista de la conductividad.

Con respecto a los sólidos suspendidos totales los resultados se presentaron en la tabla 24 y su distribución espacio temporal se visualizó en la figura 21. Se observó un comportamiento dinámico entre las diferentes estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas. Los valores mínimos fueron registrados en la estación RHuat-01 durante todas las fechas evaluadas, con concentraciones de 6,07; 8,43; 23,37 y 28,00 mg/L. Por otro lado, los valores máximos se presentaron en la estación RHuat-04 durante las fechas de muestreo M1, M2 y M4, con concentraciones de 20,20; 34,10 y 114,03 mg/L, respectivamente.

Además, en la campaña M3 se registró una concentración elevada de 85,10 mg/L en RHuat-03. El incremento de los SST fue observado en fechas cercanas al inicio de la temporada de lluvias, lo cual podría estar relacionado con el aumento del arrastre de partículas provenientes de la erosión y del escurrimiento superficial hacia el cauce del río. Resultados similares fueron reportados por Ramos (2021) y Jayo (2022). El incremento en la concentración de SST podría estar asociado tanto a un aumento en la carga mineral por procesos de erosión, como a la presencia de materiales orgánicos derivados de descargas de aguas residuales sin tratamiento, según lo señalado por UdelaR (2018).

Las concentraciones elevadas de sólidos suspendidos totales representan un motivo de gran preocupación, ya que pueden impactar significativamente la calidad del agua en los ríos. Por ello, es fundamental establecer mecanismos que permitan mitigar los efectos del impacto de la salinidad y el depósito de sedimentos en las masas de agua, con el fin de proteger y preservar tanto los recursos hídricos como la biodiversidad que estos albergan (Ebenezer et al., 2023).

De acuerdo a los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM, para Categoría 4 (Conservación del ambiente acuático), subcategoría E2 (Ríos en Costa y Sierra), el límite máximo establecido para SST es de 100 mg/L. Al comparar los resultados obtenidos con este valor limite, se observó que la mayoría de los resultados cumplen con dicha normativa, a excepción de 111,63 mg/L(RHuat-03) y RHuat-04(114,03 mg/L) ambas en la fecha de muestreo M4; estos resultados evidenciaron un incremento puntual de los sólidos suspendidos totales durante dicha fecha, lo cual puede tener impactos negativos en la calidad del agua y el ambiente acuático, afectando la flora y fauna, la transparencia del agua, y el balance del ecosistema.

Cabe mencionar que aproximadamente 150 m aguas arriba de la estación RHuat-04 se identificó la presencia de una cantera informal dedicada a la extracción de materiales. Asimismo, en este sector se encuentran establecimientos recreativos que realizan actividades próximas al río y que, según la observación de campo, podrían constituir fuentes de aporte de aguas residuales. Estas condiciones podrían favorecer el incremento de los SST en este tramo del río, especialmente durante periodos de mayor escorrentía. Butler y Ford (2018) señalan que las actividades de extracción de materiales pueden incrementar la concentración de sólidos suspendidos en los cuerpos de agua, efecto que puede intensificarse durante los periodos de precipitación.

4.2.2. Índices de contaminación (ICO's)

4.2.2.1. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Los resultados presentados en la tabla 25, muestran que los valores más bajos del ICOMO fueron registrados en la estación RHuat-01 con valores de 0,107; 0,080; 0,127 y 0,206 para las fechas de muestreo M1, M2, M3 y M4 respectivamente. En cambio, los valores más altos se presentaron en RHuat-04, con valores de 0,168; 0,275; 0,312 y 0,334 para todas las fechas de muestreo. Este patrón evidencia un incremento constante en el nivel de polución por materia orgánica en el río Huatatas a medida que fluye aguas abajo. Resultados similares han sido reportados por Estremadoyro & Zeballos (2022) en el río Tarma, por Ramos (2021) en el río Chumbao, y por Béjar & Mendoza (2018) en el río Chambo. En el caso RHuat-04, donde se presentaron los valores más altos del ICOMO, este comportamiento podría estar asociado a la descarga directa de aguas residuales domésticas sin tratamiento previo y heces de ganado al cauce del río. La presencia de concentraciones altas de estos contaminantes puede impactar de manera significativa para el desarrollo de los organismos acuáticos (González, 2017).

De acuerdo a la tabla 25, durante las fechas de muestreo M1 y M2 los valores promedio de todas las estaciones para el ICOMO fueron de 0,130 y 0,168, respectivamente, así mismo registraron un grado de contaminación "ninguna" (azul). Por otro lado, se observó que durante las fechas M3 y M4 los valores promedios se incrementaron a 0,223 y 0,272, respectivamente identificándose un grado de contaminación "baja" (verde). Este cambio refleja una presencia progresiva de materia orgánica hacia las zonas bajas del río Huatatas, el cual puede estar asociado a la carga de materia orgánica presente en el agua provenientes de actividades agrícolas, domésticas, industriales y de procesos de erosión del suelo (Cañas, 2010).

Este comportamiento podría explicarse por el ingreso progresivo de materia orgánica al cauce conforme el río avanza aguas abajo. Para entender mejor esta variación, conviene revisar en conjunto los valores de DBO_5, coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, ya que cada uno aporta información sobre las

condiciones del agua y ayuda a reconocer qué factores estarían influyendo en el comportamiento del ICOMO.

4.2.2.2. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Con respecto al ICOMI, el reporte de los resultados se mostró en la tabla 26, Se evidencio que los valores más altos se reportaron en RHuat-04 como 0,867; 0,850; 0,395 y 0,340 para todas las fechas de muestreo. Por otro lado, los valores menores como 0,125 y 0,143 que se registró en RHuat-01 durante las fechas M3 y M4. Resultados similares han sido reportados por Gamarra et al. (2018), Ramos (2021) y Jayo (2022).

De acuerdo con la tabla 26, durante las fechas M1 y M2 los valores promedios de las estaciones fueron 0,467 y 0,424 respectivamente, presentaron un grado de contaminación por mineralización clasificado como “medio” (amarillo). En cambio, los valores promedios para M3 (0,220) y M4 (0,204), los cuales correspondieron a un grado de contaminación “bajo” (verde). Esta variación permite observar una disminución progresiva del ICOMI, pasando de un grado de contaminación “medio” (amarillo) a “bajo” (verde) a lo largo del periodo evaluado, lo que sugiere una mejora temporal en la calidad del agua con respecto a este índice.

Por otro lado, la estación RHuat-04 presento las condiciones más críticas de contaminación por mineralización. Este comportamiento se debe principalmente al incremento de la conductividad y valores elevados de concentración de sólidos disueltos, los cuales suelen ser consecuencia del vertimiento de aguas residuales sin tratamiento previo al cauce del río. Asimismo, el incremento de la dureza del agua, puede relacionarse con presencia de cationes como el calcio y el magnesio, así como un aumento en la alcalinidad, relacionado con la presencia de carbonatos y bicarbonatos (Restrepo, Ramírez, & Cardeñosa, 1999).

4.2.2.3. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

Los resultados del Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) se presentaron en la tabla 27. Se observó que, para las estaciones RHuat-01, RHuat-02, RHuat-03 y RHuat-04, durante las fechas de muestreo M1, M2 y M3, los valores del índice fueron 0,021; 0,038 y 0,152, respectivamente, correspondientes a un grado de contaminación por sólidos suspendidos clasificado como “ninguna” (azul). En cambio, durante la fecha M4, se obtuvo 0,242 que correspondió a un grado de contaminación “baja” (verde). Estos resultados evidencian la presencia de sólidos suspendidos en las aguas del río Huatatas y muestran una variación del ICOSUS entre las fechas evaluadas.

Asimismo, se observó una tendencia creciente del ICOSUS conforme se avanza desde las estaciones ubicadas aguas arriba hacia las estaciones situadas aguas abajo. Este comportamiento también se presentó entre las fechas de muestreo, lo que refleja una mayor presencia de sólidos suspendidos en determinados momentos del periodo evaluado. Resultados similares fueron reportados por Trujillo et al. (2020) en el río Guachicos, Ramos (2021) en el río Chumbao y Jayo (2022) en el río Muyurina.

El incremento del ICOSUS hacia las estaciones ubicadas aguas abajo podría estar relacionado con las actividades y fuentes de aporte identificadas en el área de estudio. Entre ellas se encuentra la descarga de aguas residuales domésticas sin tratamiento en las proximidades de la estación RHuat-04, así como el arrastre de sedimentos y partículas asociado a la presencia de una cantera informal de materiales de construcción. A ello se suma la acumulación de residuos orgánicos e inorgánicos en las riberas y el cauce, los cuales pueden incorporarse al flujo del río y contribuir al aumento de los sólidos suspendidos.

En conjunto, el comportamiento del ICOSUS evidencia una tendencia de incremento hacia las zonas ubicadas aguas abajo, particularmente en los sectores donde se identificaron posibles fuentes de aporte de sedimentos y residuos. Esta situación sugiere un deterioro progresivo de la calidad del agua del río Huatatas respecto a la presencia de sólidos suspendidos dentro del tramo evaluado.

4.2.2.4. Índice de contaminación trófica (ICOTRO)

En la tabla 28 se presentaron los valores del Índice de Contaminación Trófica (ICOTRO). Se observó que la estación RHuat-01, durante la fecha de muestreo M1, presentó una condición oligotrófica. En cambio, las demás estaciones, en todas las fechas evaluadas, registraron condiciones eutróficas. Estos resultados son similares a los reportados por Montero y Ramírez (2018) en el río Guayuriba y por Jayo (2022) en el río Muyurina.

La predominancia de condiciones eutróficas indica una mayor presencia de nutrientes en el agua, situación que puede favorecer el proceso de eutrofización y afectar la calidad del ecosistema acuático. Este proceso puede presentarse de manera natural o estar relacionado con actividades humanas. Se produce cuando existe una acumulación excesiva de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, que favorecen el crecimiento excesivo de algas y otras plantas acuáticas. Como consecuencia, pueden disminuir los niveles de oxígeno disuelto y generarse condiciones desfavorables para el desarrollo y supervivencia de la fauna acuática (Recavarren, 2017).

Durante las actividades realizadas en el área de estudio, se observó que la población local utiliza de manera frecuente el río para el lavado de ropa, frazadas y vehículos, principalmente mediante el uso de detergentes. También se evidenció la presencia de residuos orgánicos e inorgánicos acumulados en las riberas. Estas prácticas pueden representar fuentes de nutrientes y otros contaminantes que ingresan al río y, por tanto, podrían contribuir al enriquecimiento del agua y a las condiciones eutróficas identificadas mediante el ICOTRO.

4.2.2.5. Índice de contaminación por pH (ICOpH)

En la tabla 29 se presentaron los resultados del índice de contaminación por pH (ICOpH). En las estaciones RHuat-01, RHuat-02, RHuat-03 y RHuat-04, durante las fechas de muestreo M1 (0,477) y M2 (0,513), indica un grado de contaminación “media” (amarillo). En M3, el valor calculado fue de 0,194, clasificado con un grado de contaminación “ninguna” (azul) en todas las estaciones. Para M4 se obtuvo un valor de

0,310, correspondiente a un grado de contaminación “baja” (verde). Por otro lado, se observa que el ICOpH disminuye de manera gradual en dirección aguas abajo en todas las fechas de muestreo. Esto refleja una reducción progresiva del nivel de contaminación asociado al pH a lo largo del río Huatatas. Estos resultados presentan similitud con los reportados por Quispe (2019) en el río Chumbao y por Recavarren (2017), quienes también encontraron variaciones en los niveles de contaminación relacionados con este parámetro.

A partir de estos resultados, se puede señalar que, de acuerdo con el ICOpH, las aguas del río Huatatas presentan condiciones regulares. Si bien la mayoría de los valores de pH registrados durante la temporada de muestreo se encuentran dentro de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, subcategoría E2: Ríos (Costa y Sierra), durante M1 y M2 se presentó un grado de contaminación “medio” (amarillo). Esta condición merece atención, debido a que podría afectar la calidad del recurso hídrico.

Un valor elevado de pH refleja condiciones alcalinas en el agua y puede estar relacionado tanto con procesos naturales como con actividades humanas. Entre las causas naturales se encuentra la lixiviación de rocas y suelos con alto contenido de minerales básicos. Por otro lado, las actividades agrícolas e industriales pueden contribuir mediante el ingreso de sustancias que modifican las características químicas del agua. En contraste, las aguas naturales también pueden presentar pH bajos (ácidos) debido a la disolución de CO_2 atmosférico o generado por los organismos vivos, a la presencia de ácido sulfúrico proveniente de ciertos minerales, o a los ácidos húmicos derivados del mantillo del suelo (Cañas, 2010).

Los resultados de la tabla 30 tabla evidencian una variación espacial del grado de contaminación de las aguas del río Huatatas. Las estaciones ubicadas aguas arriba, principalmente RHuat-01, presentaron menores valores de los índices de contaminación, mientras que hacia RHuat-04 se observó un incremento del ICOMO e

ICOMI. El ICOMI alcanzó un valor de 0,613, correspondiente a un grado de contaminación “alta”, evidenciando una mayor alteración de la calidad aguas abajo.

El ICOMO presentó valores entre 0,133 y 0,273, correspondientes a niveles de contaminación entre “ninguna” y “baja”, lo cual guarda relación con los valores relativamente bajos de DBO_5 registrados durante la temporada de estudio. En contraste, el ICOMI aumentó de 0,206 en RHuat-01 a 0,613 en RHuat-04, comportamiento asociado al incremento de la conductividad, alcalinidad y dureza hacia las estaciones aguas abajo.

El ICOSUS presentó valores bajos en todas las estaciones de muestreo, aunque mostró un incremento en RHuat-04, posiblemente relacionado con el arrastre de partículas provenientes de las zonas intervenidas. Asimismo, el ICOTRO clasificó todas las estaciones como “eutróficas”, condición relacionada con la presencia de concentración de fósforo. Por su parte, el ICOpH presentó valores entre 0,269 y 0,473, alcanzando un grado de contaminación “media” en RHuat-02.

En conjunto, los resultados muestran una tendencia hacia una mayor alteración de la calidad del agua en las estaciones ubicadas aguas abajo, principalmente en RHuat-04. La aplicación de los ICO’s permitió identificar que la contaminación asociada con materia orgánica y sólidos suspendidos se mantuvo en niveles bajos, mientras que el ICOMI presentó la mayor variación espacial y el ICOTRO evidenció una condición eutrófica en todas las estaciones evaluadas, dichas condiciones de contaminación son derivados de las actividades recreativas de las poblaciones cercanas.

4.2.3. Correlación de parámetros e índices de contaminación (ICO’s)

En la figura 27 se presenta los resultados de la correlación entre los parámetros microbiológicos, químicos y físicos de las aguas del río Huatatas, en ella se observa que los coliformes totales presentan una correlación positiva fuerte con varios parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, lo cual indica que a medida que aumentan los valores de estos parámetros, también lo hacen los coliformes totales; las correlaciones más significativas con estos parámetros son: coliformes termotolerantes (0,95),

conductividad (0,94), dureza (0,93), alcalinidad (0,88) y solidos suspendidos totales (0,87). Asimismo, se evidencia una fuerte correlación positiva entre: alcalinidad y dureza (0,99), alcalinidad y conductividad (0,98); dureza y conductividad (0,99); lo cual sugiere que estos parámetros están estrechamente relacionados, posiblemente debido a la composición iónica del agua.

El fósforo total muestra una fuerte correlación positiva con los sólidos suspendidos totales (0,93), y el pH también guarda una correlación positiva moderada con los sólidos suspendidos totales (0,72). Esta correlación positiva quiere decir que ambos parámetros incrementaran su valor entre sí.

Por otro lado, se observan correlaciones negativas moderadas entre el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto y varios parámetros: como son los sólidos suspendidos totales (-0,74), fosforo total (-0,73), coliformes totales (-0,64), dureza (-0,53) y la alcalinidad (-0,46); estas correlaciones indican que, a medida que aumentan estos parámetros, la saturación de oxígeno disminuye, lo cual podría estar relacionado con procesos de eutrofización o alta carga orgánica en el cuerpo de agua.

Finalmente, el parámetro de la demanda bioquímica de oxígeno no mostró correlación estadísticamente significativa con los demás parámetros analizados (p-value > 0,05), lo que sugiere una independencia respecto a las variables medidas en este estudio.

Así mismo se puede observar en la figura 28, los valores de la correlación entre los índices de contaminación (ICO’s) de las aguas del río Huatatas, en ella se evidencia que el ICOMO muestra una fuerte correlación positiva con el ICOMI (0,89), seguido del ICOSUS (0,88). Esto indica que, a medida que se incrementa la contaminación por materia orgánica (ICOMO), también lo hacen la contaminación por mineralización (ICOMI) y por sólidos suspendidos (ICOSUS).

Por otro lado, se evidencia una correlación negativa débil entre el ICOMI y el ICOTRO (-0,37), lo que sugiere que un aumento en la contaminación por mineralización se asocia con una leve disminución en los niveles de contaminación trófica (ICOTRO).

4. CONCLUSIONES

1. Se determinó el grado de contaminación de las aguas del río Huatatas mediante los Índices de Contaminación del Agua (ICO's) durante la temporada de estiaje 2024. Los resultados mostraron que las estaciones RHuat-01, RHuat-02 y RHuat-03 registraron grados de contaminación entre "ninguna" y "baja"; mientras que RHuat-04 evidenció la mayor afectación, destacando el índice ICOMI con un valor de 0,613, correspondiente a un grado de contaminación "alta", asociado a procesos de mineralización (ver tabla 30). Asimismo, todas las estaciones fueron clasificadas como sistemas "eutróficos" (ver figura 26), lo que confirma la presencia de condiciones asociadas al enriquecimiento de nutrientes. En este sentido se concluye que existe un incremento progresivo de la contaminación y un deterioro de la calidad del agua hacia la parte baja del río Huatatas durante el periodo de evaluación, asociado principalmente con actividades antrópicas, como el vertimiento de excretas sin tratamiento, la disposición inadecuada de residuos sólidos y el uso doméstico del río para el lavado de vehículos y ropa (ver tabla 31).
2. Los parámetros microbiológicos evidenciaron una mayor concentración de coliformes totales y termotolerantes en las estaciones RHuat-04 y RHuat-03, respectivamente (ver tablas 14 y 15). Si bien los valores obtenidos se encontraron dentro de los límites establecidos por los ECA para Agua (D.S. N.º 004-2017-MINAM), Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático, subcategoría E2: Ríos (Costa y Sierra) (ver anexo 2.5), su presencia reflejó la influencia de actividades

humanas cercanas al cauce, principalmente por vertimientos domésticos sin tratamiento.

3. Los parámetros químicos evaluados mostraron que, en su mayoría los valores se encontraron dentro de los estándares establecidos para la Categoría 4(E2: Ríos) de los ECA para agua. Sin embargo, se identificaron condiciones alcalinas del agua por valores elevados de pH (ver tabla 21), así como concentraciones puntuales de fósforo total que superaron el límite establecido (ver figura 19). Estas variaciones están relacionadas principalmente con las actividades domésticas desarrolladas en las riberas del río.
4. Los parámetros físicos evidenciaron una variación espacial marcada, principalmente en los sólidos suspendidos totales. La conductividad eléctrica se mantuvo dentro de los límites establecidos por el ECA para agua, Categoría 4 (E2: Ríos) (ver tabla 23). En cambio, los sólidos suspendidos totales presentaron incrementos en la estación RHuat-04 (ver figura 21), superando el valor establecido. Este comportamiento estuvo relacionado con procesos de erosión, escorrentía superficial y aportes de origen antrópico, confirmando un mayor deterioro de la calidad del agua en los tramos ubicados aguas abajo.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un programa de monitoreo periódico de la calidad del agua del río Huatatas, considerando los parámetros microbiológicos, fisicoquímicos y los Índices de Contaminación del Agua (ICO's), con la finalidad de evaluar su comportamiento espacial y temporal, y establecer medidas preventivas ante posibles incrementos de contaminación.
2. Fortalecer la coordinación entre las entidades competentes, como la Autoridad Local del Agua Mantaro y los gobiernos locales, para desarrollar acciones de control de vertimientos, manejo adecuado de residuos sólidos y sensibilización ambiental en las poblaciones cercanas al río Huatatas. Asimismo, promover la implementación de programas de educación ambiental dirigidos a los pobladores, instituciones educativas y organizaciones locales, orientados a reducir prácticas que afectan la calidad del recurso hídrico, como el vertimiento de aguas residuales y la disposición inadecuada de residuos.
3. Realizar estudios complementarios que incluyan la evaluación de otros contaminantes de interés ambiental, como metales pesados, nutrientes, plaguicidas y otros indicadores biológicos, con el propósito de obtener una evaluación integral del estado ambiental del río Huatatas.
4. Realizar un estudio de factibilidad técnica para evaluar si el agua del río Huatatas puede ser utilizada como fuente de abastecimiento para consumo humano, considerando su calidad, disponibilidad de caudal durante el estiaje y posibles puntos de captación, con la finalidad de determinar si el recurso puede ser aprovechado de manera segura, previo tratamiento y cumplimiento de la normativa vigente.
5. Se recomienda desarrollar propuestas de recuperación y conservación del ecosistema acuático del río Huatatas, considerando medidas basadas en la naturaleza, control de fuentes contaminantes y participación activa de la población local.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcora. (2022). *Muestra de agua para análisis: Toma, conservación y cadena de custodia.*https://alcora.es/blog/muestra-de-agua-para-analisis-toma-conservacion-y-cadena-de-custodia/.

Alvarado Pariona, H. R. (2020). *Coliformes totales y fecales en Lactuca sativa var. iceberg (lechuga carola) que se expende en los mercados del distrito de Parcona – Ica, Perú* [Tesis para optar el título de biólogo, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. Repositorio Institucional. https://repositorio.unica.edu.pe/.

American Public Health Association (APHA). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association.

AQUAE Fundación. (2021). *Datos interesantes de la distribución del agua en la Tierra*. https://www.fundacionaquae.org/principales-datos-del-agua-en-el-mundo/

Arias, J., & Covinos, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Enfoques Consulting EIRL

Aronés Medina, E. G., Véliz Florez, R. R., & Palomino Malpartida, Y. G. (2018). Evaluación de la calidad del agua del río Huatatas, aplicando el ICA, región Ayacucho. *Revista de Investigación*. https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.2018.1.67

Arteaga, F. (2023, octubre). *"La crisis del agua la estamos viviendo desde ahora"*. Universidad de Piura. https://www.udep.edu.pe/hoy/2023/10/dr-francisco-arteaga-la-crisis-del-agua-la-estamos-viviendo-desde-ahora/

Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Manual de usos del agua*. Repositorio Digital de Recursos Hídricos. https://hdl.handle.net/20.500.12543/4208

Autoridad Nacional del Agua. (2022). *XVII monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la cuenca Perené: Ríos Tarma, Huasahuasi, Ricrán, Palcamayo, Oxabamba, Paucartambo, Huachón y Ulcumayo en época de estiaje, julio*. https://www.gob.pe/institucion/ana/noticias/672638-tarma-ana-detecta-alto-contenido-de-ph-en-50-de-la-red-de-puntos-de-monitoreo-de-la-calidad-del-agua

Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales*

superficiales. Repositorio Digital de Recursos Hídricos. https://hdl.handle.net/20.500.12543/2440

Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. Repositorio Digital de Recursos Hídricos. https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0

Aveiga-Ortiz, A. M., Noles, P., De la Cruz, A., Peñarrieta, F., & Alcántara, F. (2019). Variaciones físico-químicas de la calidad del agua del río Carrizal en Manabí. *Enfoque UTE, 10*(3), 30–41. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n3.423

Baird, R. B., Eaton, A. D., & Rice, E. W. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). American Water Works Association.

Barrera, E. G., Fernández, R. C., Wong, C. I., & Ramírez, R. P. (2013). La sensibilidad del grupo coliforme como indicador de la presencia de enterobacterias patógenas en cuatro cuerpos acuáticos de México. *Hidrobiológica, 23*(1), 87–96. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972013000100009.

Barreto, S. P. (2010). *Protocolo de monitoreo de agua*. Facultad de Ciencias del Ambiente, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/Protocolo_Agua.pdf

Béjar, S. J., & Mendoza, T. B. (2018). Contaminación orgánica del río Chambo en el área de descarga de agua residual de la ciudad de Riobamba. *Perfiles, Revista Científica*.

Belizario Quispe, G., Capacoila Coila, J., Huaquisto Ramos, E., Cornejo Olarte, D. A., & Chui Betancur, H. N. (2019). Determinación del contenido de fósforo y arsénico, y de otros metales contaminantes de las aguas superficiales del río Coata, afluente del lago Titicaca, Perú. *Revista Boliviana de Química, 36*(5), 223–228. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602019000500004.

Butler, B. A., & Ford, R. G. (2018). Evaluación de las relaciones entre los sólidos disueltos totales (SDT) y los sólidos suspendidos totales (SST) en una cuenca hidrográfica con influencia minera. *Mine Water and the Environment, 31*, 18–30. https://link.springer.com/article/10.1007/s10230-017-0484-y

California State Water Resources Control Board. (2025). *Folleto informativo: Oxígeno disuelto (OD)*. https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf

Calvo, B. G. (2019). Nuevo índice para valorar la calidad de aguas superficiales en Costa Rica. *Tecnología en Marcha, 32*(4), 104–115. https://doi.org/10.18845/tm.v32i4.4796.

Cañas, A. J. (2010). *Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICOS) en cuerpos de agua*. Makro Construcciones LTDA. https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/bcbd4915-453a-455e-8a5c-0ac7017f88c2/content

Carrera, D., Guevara, P., Andrade, V., & Piedra, P. (2016). Análisis multitemporal de los parámetros potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica y cloruros del sistema hidrográfico del río Ambi–Yachay. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 1*(6). https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.43

Chávez, M. L. (2015). *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzintla, Veracruz* [Tesis de maestría, Universidad Veracruzana]. http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/41932

Chicojay, M. C. (2024). *Índices de contaminación*. INSIVUMEH (Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda). https://insivumeh.gob.gt/?p=56959.

De la Cruz, V. J. (2016). *Inventario de los recursos hídricos superficiales de la subcuenca del río Huatatas – Ayacucho, 2016*. https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b567be6a-1ff7-49b0-8894-2e60722eacc8/content

Del Río, M. I. (2018). Revisión crítica de los índices físico-químicos de calidad del agua. *Ingeniería Civil, 86*. https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/1353

Denchak, M. (2023). *La contaminación del agua: Todo lo que necesitas saber*. Natural Resources Defense Council. https://www.nrdc.org/es/stories/contaminacion-agua-todo-lo-necesitas-saber

Eaton, A. D., Baird, R. B., & Rice, E. W. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation.

Ebenezer, A., Haroon, S., David, J., & Sajjad, A. (2023). Medición de sólidos disueltos totales y sólidos suspendidos totales en sistemas de agua: una revisión de los problemas, técnicas convencionales y de teledetección. *Remote Sensing, 15*(14), 3534. https://doi.org/10.3390/rs15143534

Environmental Protection Agency. (2025, mayo 5). *Contaminación por nutrientes*. https://espanol.epa.gov/espanol/agua

Environmental Protection Agency. (2025, enero 27). *Glosario ambiental bilingüe*. https://espanol.epa.gov/espanol/terminos

Estremadoyro, M. M., & Zeballos, Z. C. (2022). *Evaluación de los índices de contaminación del agua del río Tarma – Junín – 2021* [Tesis para optar el título profesional de ingeniería ambiental, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. https://hdl.handle.net/20.500.12692/109403

Eurofins Environment Testing. (2025, mayo 21). *DBO5 y DQO: Parámetros clave en el análisis de aguas*. https://www.eurofins-environment.es/es/dbo5-dqo-analisis-aguas

Fernández, R. L. (2019). *Aguas continentales: Qué son, características e importancia*. EcologíaVerde. https://www.ecologiaverde.com/aguas-continentales-que-son-caracteristicas-e-importancia-2363.html

Galarza, E., Cabrera, M., Espinosa, R., Espitia, E., & Moulatlet, G. M. (2021). Assessing the quality of Amazon aquatic ecosystems with multiple lines of evidence: The case of the northeast Andean foothills of Ecuador. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. https://doi.org/10.1007/s00128-020-03089-0

Gamarra, O., Barrena, M., Barboza, E., Rascón, J., Corroto, F., & Taramona, L. (2018). Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú. *Arnaldoa, 25*(1), 179–194. https://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25111

González, R. J. (2017). *Evaluación de los indicadores de calidad ICA e ICO del río Botello ubicado en el municipio de Facatativá* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional. https://repository.unad.edu.co/handle/10596/13563

Guevara, G. A., Obando, L. W., & Segura, U. F. (2019). *La gestión de la calidad de agua en el Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú. http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/166034

Hu, S. (2022, octubre 13). *Acidificación de los océanos: Lo que debes saber*. Natural Resources Defense Council. https://www.nrdc.org/es/stories/acidificacion-oceanos-lo-debes-saber

Jayo Cuellar, Z. (2022). *Evaluación de la contaminación del río Muyurina empleando el método de los índices de contaminación (ICO), Ayacucho 2018–2019* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional. http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5780

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). (2024). *Índices de contaminación*. https://insivumeh.gob.gt/?p=56959

López, B. (2023). *Coliformes: Características, tipos, géneros y enfermedades*. Lifeder. https://www.lifeder.com/coliformes/

Maceira, A. (2020, agosto 5). *¿Qué es el agua?* iAgua. https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua

Mahe, A., & Salihu, N. (2024). Perspectiva sobre parámetros fisicoquímicos y calidad del agua. En *Water quality and physicochemical parameters* (capítulo). IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.1006354

Maxwell, S. E., & Delaney, H. D. (2018). *Designing experiments and analyzing data: A model comparison perspective* (3rd ed.). Routledge/Taylor & Francis Group.

Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM: Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua*. Diario Oficial *El Peruano*. https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/223568-004-2017-minam

Monteagudo, Q. M. (2015). *Análisis comparativo de los índices de calidad de agua en los ríos Lampa y Cabanillas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].

Montero, M. V., & Ramírez, D. Y. (2018). *Análisis de la variabilidad en la calidad del agua, a partir del uso de índices de contaminación (ICO's) como aporte al POMCA de la cuenca del río Guayuriba* [Tesis de grado, Universidad Santo Tomás]. http://hdl.handle.net/11634/13688

Moronta, R. J., & Riverón, Z. A. (2016). Evaluación de la calidad físico-química de las aguas y sedimentos en la costa oriental del lago de Maracaibo. *Minería y Geología, 32*(2), 102–111. https://www.redalyc.org/journal/2235/223545820007/html/

Nemery, J. (2025). *Fósforo y eutrofización*. Encyclopédie de l'Environnement. https://www.encyclopedie-environnement.org/es/agua/fosforo-y-eutrofización-2/.

Oliden, S. M., & Villegas, M. G. (2019). *Parámetros organolépticos y microbiológicos de la calidad del agua de consumo humano de la población del caserío Chamaya Pueblo, provincia Jaén – Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional. https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/154

Organización Mundial de la Salud. (2022). *Guías para la calidad del agua potable: Incluye el primer apéndice* (Vol. 1). Organización Mundial de la Salud.

Pérez, L. E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Tecnología en Marcha, 29*(3), 3–14. https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884

Quispe, Q. Y. (2021). *Actividades antrópicas y calidad del agua en el río Chumbao, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac, 2019* [Tesis para optar el título profesional de ingeniería ambiental, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. https://hdl.handle.net/20.500.12692/60930

Real Academia Española. (2025). *Diccionario de la lengua española* (23.ª ed., versión 23.8 en línea). https://dle.rae.es/agua

Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales: Formulaciones y aplicación. *CT&F Ciencia, Tecnología y Futuro, 1*(3), 135–153. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831997000100009

Ramos Pacheco, B. S. (2021). *Variación espacial y temporal de los índices de contaminación del agua en la microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, 2018* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional. http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6594

Recavarren, R. E. (2017). *Índices de contaminación (ICO's) del agua residual generada en fabricación de vinos y piscos de la bodega Recavarren EIRL en la ciudad de Tingo María* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional. https://hdl.handle.net/20.500.14292/2008

Restrepo, R., Ramírez, A., & Cardeñosa, M. (1999). *Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos: Formulaciones*. CT&F Ciencia, Tecnología y Futuro.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100008

Restrepo, V. I. (2015). *Evaluación de la calidad del recurso hídrico del río Cabí a través de la formulación de un índice de contaminación asociado a la actividad minera aurífera* [Tesis de maestría, Universidad de Manizales]. https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2438/

Rocker Scientific. (2023). *Aplicaciones: Prueba de sólidos suspendidos totales*. https://www.rocker.com.tw/en/application/suspended_solid_test/.

Roldán Pérez, G., & Ramírez Restrepo, J. J. (2022). *Fundamentos de limnología neotropical*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/2381

Salvioli, M., Guerrero, B. V., Cipponeri, M., Calvo, G. H., & Di Lucente, F. (2017). Evaluación de la calidad del agua superficial de una cuenca urbana de la provincia de Buenos Aires. https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/60278

Sarasola, J. (2023, diciembre 3). *Río (definición)*. Ikusmira. https://ikusmira.org/p/rio-definicion

Sarmiento, E. L., Meléndez, C. M., & Loyola, A. J. (2016). *Aprende a prevenir los efectos del mercurio: Módulo 3. Agua y alimento*. Ministerio del Ambiente.

Shangguan, Q., Lai, C.-Z., Beatty, C.M., Young, F.L., Spaulding, R.S. and DeGrandpre, M.D. (2021), Autonomous in situ measurements of freshwater alkalinity. Limnol Oceanogr Methods, 19: 51-66. https://doi.org/10.1002/lom3.10404.

Swistock, B. (2023). *Bacterias coliformes*. Penn State Extension, The Pennsylvania State University. https://extension.psu.edu/bacterias-coliformes

TELWESA. (2022, agosto 3). *Tipos de contaminación del agua*. https://telwesa.com/tipos-de-contaminacion-del-agua/

Trujillo-Zapata, S. A., Cortés-Orozco, C. P., Vinasco-Guzmán, M. C., Ortega-Astudillo, J. D., & Cruz-Ospina, C. A. (2020). Evaluación de la calidad del agua en la fuente abastecedora de Pitalito–Huila: Río Guachicos y sus afluentes principales, utilizando los índices de contaminación e índice de calidad de agua. *Gestión y Ambiente, 23*(2), 182–192. https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.83600

Universidad de la República (Udelar). (2018, noviembre 15). *Monitoreo de variables físico-químicas de agua*. Aguas Urbanas – Núcleo Interdisciplinario.

https://aguasurbanas.ei.udelar.edu.uy/index.php/2018/11/15/monitoreo-de-variables-fisico-quimicas-de-agua/

U.S. Geological Survey. (2022). Water quality in the Missouri River alluvial aquifer near the Independence, Missouri, well field, 1997–2018. U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/sir20225027.

Valdivielso, A. (2025, octubre 10). Tipos de contaminantes del agua. iAgua. https://www.iagua.es/respuestas/tipos-contaminantes-agua

Vier, P. (2024). Qué es la contaminación industrial y cómo prevenirla. Cold Jet. https://blog-mx.coldjet.com/contaminacion-industrial

Villavicencio, L., Gomezcuello, J., & Bravo, D. (2023). Coliformes totales y Escherichia coli en superficies inertes en contacto con el consumo de los alimentos de los patios de comida del mercado “25 de junio”, Gualaceo–Ecuador. Polo del Conocimiento, 8(9), 377–389. https://doi.org/10.23857/pc.v8i9.6020

Vitaqua. (2022). ¿Qué es la conductividad en el agua y cómo afecta al tratamiento de aguas residuales? https://vitaqua.es/que-es-la-conductividad-en-el-agua-y-como-afecta-al-tratamiento-de-aguas-residuales/

Zarza, L. F. (2024). Noticias e información sobre las empresas y organismos públicos relevantes y toda la actualidad del sector del agua. iAgua.

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia

Grado de Contaminación de las Aguas del Río Huatatas según los Índices de Contaminación (ICO's), Huamanga 2024

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	DEFINICIÓN DE VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES					METODOLOGÍA
			Variable de interés	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Método	
Problema general: ¿Cuál es el grado de contaminación de las aguas del río Huatatas, según los índices de contaminación (ICO's), a partir de la evaluación de parámetros microbiológicos, químicos y físicos, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024, en la provincia de Huamanga? **Problemas específicos:** ¿ Cuáles son los valores de los parámetros microbiológicos como coliformes totales (CT), determinados en las diferentes estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024? ¿ Cuáles son los valores de los parámetros químicos como DBO_5, porcentaje de saturación de oxígeno, alcalinidad, dureza total, potencial de hidrógeno (pH) y fósforo total, determinados en las diferentes estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024? ¿ Cuáles son los valores de los parámetros físicos como conductividad y sólidos suspendidos totales (SST), determinados en las diferentes estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024?	**Objetivo general:** Determinar el grado de contaminación de las aguas del río Huatatas, según los índices de contaminación (ICO's), a partir de la evaluación de parámetros microbiológicos, químicos y físicos, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024, en la provincia de Huamanga. **Objetivos específicos:** Evaluar los valores de los parámetros microbiológicos, como coliformes totales (CT), en las diferentes estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024. Evaluar los valores de los parámetros químicos, como DBO_5, porcentaje de saturación de oxígeno, alcalinidad, dureza total, potencial de hidrógeno (pH) y fósforo total, en las diferentes estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024. Evaluar los valores de los parámetros físicos, como conductividad y sólidos suspendidos totales (SST), en las diferentes estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024.	**Hipótesis general:** El grado de contaminación de las aguas del río Huatatas es alto, según los índices de contaminación (ICO's), a partir de la evaluación de parámetros microbiológicos, químicos y físicos, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024, en la provincia de Huamanga. **Hipótesis específicas:** Los valores de los parámetros microbiológicos como coliformes totales; evaluados en las estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024, no cumplen con los límites establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 4, conservación del ambiente acuático. Los valores de los parámetros químicos como DBO_5, porcentaje de saturación de oxígeno, alcalinidad, dureza total, potencial de hidrógeno (pH) y fósforo total; evaluados en las estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024, no cumplen con los límites establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 4, conservación del ambiente acuático. Los valores de los parámetros físicos como conductividad y sólidos suspendidos totales (SST); evaluados en las estaciones y fechas de muestreo del río Huatatas, durante la temporada de estiaje comprendida entre octubre y diciembre de 2024, no cumplen con los límites establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 4, conservación del ambiente acuático.	Grado de contaminación	Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)	DBO_5	mg/L	Respirométrico/manométrico	**Tipo de investigación:** Básica. **Nivel de investigación:** Descriptivo **Enfoque:** Cuantitativo **Método:** Método deductivo Método analítico Método estadístico **Diseño de investigación:** No experimental, longitudinal **Población:** Aguas del río Huatatas, Provincia Huamanga-Ayacucho. **Muestra:** Constituida por 16 muestras de agua del río Huatatas. **Técnicas e instrumentos:** -Recolección de datos "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales". -Medición y análisis de 9 parámetros (microbiológico, físicos y químicos) -Reportes de resultados de análisis de laboratorio (INACAL) Recopilación, tratamiento e interpretación de datos
					Coliformes totales	NMP/100 ml	Tubos múltiples	
					% de saturación de oxígeno	%	Electrométrico	
				Índice de Contaminación por mineralización (ICOMI)	Conductividad	µS/cm	Electrométrico	
					Dureza total	mg/L	Titulación	
					Alcalinidad	mg/L	Titulación	
				Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)	Sólidos suspendidos totales	mg/L	Gravimétrico	
				Índice de contaminación por trofia (ICOTRO)	Fósforo total	mg/L	Espectrofotométrico	
				Índice de contaminación por pH (ICOpH)	pH	Unidad	Electrométrico	

Anexo 2 Validación del instrumento

Anexo 2.1 Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA).

REPUBLICA DEL PERU

CUT: 135807

Expediente : CUT - 135807 - 2015
Materia : Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos

RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 010 -2016-ANA

Lima, 11 ENE. 2016

VISTO:

El Memorando N°2484-2015-ANA-DGCRH de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos; y,

CONSIDERANDO:

Que, conforme el artículo 15° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, es función de la Autoridad Nacional del Agua, dictar normas y establecer procedimientos para asegurar la gestión integral y sostenible de los recursos hídricos;

Que, según el artículo 76° de la acotada Ley, la Autoridad Nacional del Agua en el lugar y el estado físico en que se encuentre el agua, sea en sus cauces naturales o artificiales, controla, supervisa y fiscaliza el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del agua sobre la base de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y las disposiciones y programas para su implementación establecidos por la autoridad del ambiente. También establece medidas para prevenir, controlar y remediar la contaminación del agua y los bienes asociados a esta. Asimismo, implementa actividades de vigilancia y monitoreo, sobre todo en las cuencas donde existan actividades que pongan en riesgo la calidad o cantidad de recurso;

Que, el artículo 126° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, aprobado mediante Decreto Supremo N° 001-2010-AG, establece que el monitoreo de la calidad de las aguas, en el marco del Plan Nacional de Vigilancia de la Calidad del Agua, se efectúa de acuerdo con el protocolo aprobado por la Autoridad Nacional del Agua;

Que, asimismo el artículo 6° de las Disposiciones para la Implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, aprobado por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, y modificado por Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, prescribe que la autoridad competente establece el protocolo de monitoreo de la calidad ambiental del agua, en coordinación con el MINAM y la participación de los sectores respectivos;

Que, el "Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial" fue aprobado mediante Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA;

Que, con Resolución Jefatural N° 251-2015-ANA se prepublicó un proyecto de protocolo nacional de monitoreo de la calidad de los cuerpos naturales de agua superficial, para que durante el plazo de quince (15) días hábiles, se reciban los opiniones y comentarios respectivos;

Que, con documento del visto, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos remite el Informe Técnico N° 175-2015-ANA-DGCRH/GECRH-MEPB/KH y la nueva propuesta de Protocolo que propone estandarizar criterios y procedimientos técnicos para evaluar la calidad de los recursos hídricos, continentales y marino costeros, considerando las normas internacionales en su última actualización y estableciendo mayores precisiones para el monitoreo; propuesta que contempla los aportes, comentarios y sugerencias efectuados por las autoridades ambientales correspondientes;

Que, en tal sentido el citado informe recomienda se apruebe el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, ello en cumplimiento a lo previsto en el artículo 6° de las Disposiciones para la Implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, aprobadas por el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, modificado por Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM;

Que, por lo expuesto resulta necesario dictar el acto administrativo que apruebe el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, y deje sin efecto la Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA; y

Con el vistos de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la Oficina de Asesoría Jurídica y de la Secretaría General, y en uso de las facultades conferidas en el artículo 11° del Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua aprobado por Decreto Supremo Nº 006-2010-AG;

SE RESUELVE:

Artículo 1º.- Aprobación
Aprobar el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales", que forma parte integrante de la presente resolución.

Artículo 2°.- Publicación
Disponer la publicación de la presente resolución y del Protocolo aprobado mediante el artículo precedente en el portal institucional de la Autoridad Nacional del Agua: www.ana.gob.pe.

Artículo 3º.- Derogatoria
Dejar sin efecto la Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA.

Regístrese, comuníquese y publíquese,

JUAN CARLOS SEVILLA GILDEMEISTER
Jefe
Autoridad Nacional del Agua

Anexo 2.2 Certificado de calibración equipo multiparámetro HQ40D marca HACH

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO Nº LC - 029

INACAL DA - Perú Laboratorio de Calibración Acreditado

Registro Nº LC - 029

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OHLFQ-151-2023

1.- SOLICITANTE

Razón social: LABORATORIOS PERU MUNDO E.I.R.L.
Dirección: MZA. G ASC. LOS OLIVOS AYACUCHO - HUAMANGA - SAN JUAN BAUTISTA
OTI : LC-472

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN Multiparametro (Conductividad)

Marca :	HACH
Modelo :	HQ40D
N° de Serie :	170500014983
Código de Identif. :	No indica
Sensor :	CDC401
N° de serie sensor :	192492584522
Procedencia :	Estados Unidos
Intervalo de medición :	0,01 uS/cm a 200 mS/cm
Resolución :	0,1 uS/cm / 1 uS/cm / 0,01 mS/cm

3.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN

* El instrumento fue calibrado el 22 - 12 - 2023.
* La calibración se realizó en el Área de Fisicoquímica del Laboratorio OHLAB.

Este certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales (INACAL) y/o internacionales.
OHLAB S.A.C. custodia, conserva y mantiene sus patrones en áreas con condiciones ambientales controladas, realiza mediciones metrologicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del sistema legal de unidades del medida del Perú.
OHLAB S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debe tener un control de mantenimiento y recalibraciones apropiadas para cada instrumento.

4.- CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura	19,6 °C	±	0,2 °C
Humedad	62,2 % HR	±	0,5 % HR

Este Certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos y/o modificaciones requieren la autorización del Laboratorio de Metrología OHLAB S.A.C. Certificado sin firma y sello carecen de validez. Los resultados de este certificado no deben utilizarse como certificado de conformidad de producto. Los resultados se refieren exclusivamente a los ítems recibidos, el laboratorio OHLAB S.A.C. declina de toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciere de este certificado.

Fecha de emisión: 2023 - 12 - 22

OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY S.A.C.
Laboratorio de Metrología
Avenida La Marina 365, La Perla, Callao - Perú
Telf.: (01) 454 3009 Cel.: (+51) 983 731 672
Email: comercial@ohlaboratory.com
Web: www.ohlaboratory.com

Juan Diego Arribasplata JEFE DE LABORATORIO DE METROLOGÍA

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO Nº LC -029

INACAL DA - Perú Laboratorio de Calibración Acreditado

Registro Nº LC - 029

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OHLFQ-152-2023

1.- SOLICITANTE

Razón social: LABORATORIOS PERU MUNDO E.I.R.L.
Dirección: MZA. G ASC. LOS OLIVOS AYACUCHO - HUAMANGA - SAN JUAN BAUTISTA
OTI : LC-472

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN Multiparametro (pH)

Marca :	HACH
Modelo :	HQ40d
N° de Serie :	170500014983
Código de Indentif. :	No indica
Sensor :	PHC101
N° de serie sensor :	192382562541
Procedencia :	Estados Unidos
Intervalo de medición :	2 pH a 14 pH
Resolución :	0,01 pH

3.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN

* El instrumento fue calibrado el 22 - 12 - 2023.
* La calibración se realizó en el Área de Fisicoquímica del Laboratorio OHLAB.

Este certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales (INACAL) y/o internacionales.
OHLAB S.A.C. custodia, conserva y mantiene sus patrones en Áreas con condiciones ambientales controladas , realiza mediciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del sistema legal de unidades del medida del Perú.
OHLAB. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debe tener un control de mantenimiento y recalibraciones apropiadas para cada instrumento.

4.- CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura	19,8 °C	±	0,1 °C
Humedad	59,6 % HR	±	1,1 % hr

Este Certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos y/o modificaciones requieren la autorización del Laboratorio de Metrología OHLAB S.A.C. Certificado sin firma y sello carecen de validez..
Los resultados de este certificado no deben utilizarse como certificado de conformidad de producto. Los resultados se refieren exclusivamente a los ítems recibidos, el laboratorio OHLAB S.A.C. declina de toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciere de este certificado.

Fecha de emisión: 2023 - 12 - 22
Sello

OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY S.A.C.
Laboratorio de Metrología
Avenida La Marina N° 365, La Perla Callao - Perú
Telf.: (01) 454 3009 Cel. : (+51) 983 731 672
Email: comercial@ohlaboratory.com
Web: www.ohlaboratory.com

Juan Diego Arribasplata JEFE DE LABORATORIO DE METROLOGÍA

Certificado de Calibración OHLFQ-451-2023

1.- SOLICITANTE

Nombre: LABORATORIOS PERU MUNDO E.I.R.L.
Dirección: MZA. G ASC. LOS OLIVOS AYACUCHO - HUAMANGA - SAN JUAN BAUTISTA

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN Multiparámetro (OD)

Marca :	HACH
Modelo :	HQ40d
N° de Serie :	170500014983
Procedencia :	Estados Unidos

3.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN

* El instrumento se calibró el 2023-12-22
* La calibración se realizó en el Área de Físico-química del Laboratorio OHLAB S.A.C.

Este certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones Nacionales (INACAL) y/o internacionales.
OHLAB S.A.C. custodia, conserva y mantiene sus patrones en Áreas con condiciones ambientales controladas, realiza mediciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del sistema legal de unidades del medida del Perú.
OHLAB S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debe tener un control de mantenimiento y recalibraciones apropiadas para cada instrumento.

4.- CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura	21,5 °C	±	0,2 °C
Humedad	58,9 % HR	±	0,6 % HR
Presión	1008,5 hPa	±	0,2 hPa

Este Certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos y/o modificaciones requieren la autorización del Laboratorio de Metrología OHLAB S.A.C. Certificado sin firma y sello carecen de validez. Los resultados de este certificado no deben utilizarse como certificado de conformidad de producto. Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a calibración, el laboratorio OHLAB S.A.C. declina de toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciere de este certificado.

Fecha de emision: 2023-12-22
Sello

OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY S.A.C.
Laboratorio de Metrología
Avenida La Marina 365, La Perla, Callao - Perú
Telf.: (01) 454 3009 Cel.: (+51) 983 731 672
Email: comercial@ohlaboratory.com
Web: www.ohlaboratory.com

Juan Diego Arribasplata JEFE DE LABORATORIO DE METROLOGÍA

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO Nº LC - 029

INACAL DA - Perú Laboratorio de Calibración Acreditado

Registro Nº LC - 029

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OHLTH-252-2023

1.- SOLICITANTE

Razón social: LABORATORIOS PERU MUNDO E.I.R.L.
Dirección: MZA. G ASC. LOS OLIVOS AYACUCHO - HUAMANGA - SAN JUAN BAUTISTA
OTI : LC-472

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN Termómetro (Multiparámetro)

Marca:	HACH
Modelo:	HQ40d
Número de serie:	170500014983
Código de identif. :	No indica
Numero de serie sensor:	192382562541
Tipo de sensor :	Termistor
Resolución	0,1 °C
Procedencia :	No indica

3.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN

* El instrumento fue calibrado el 2023 - 12 - 22
* La calibración se realizó en el Área de Temperatura del Laboratorio OHLAB.

Este certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales (INACAL) y/o internacionales.
OHLAB S.A.C. custodia, conserva y mantiene sus patrones en áreas con condiciones ambientales controladas , realiza mediciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del sistema legal de unidades del medida del Perú.
OHLAB S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debe tener un control de mantenimiento y recalibraciones apropiadas para cada instrumento.

4.- CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura	20,3 °C	±	0,1 °C
Humedad	60,2 % HR	±	0,4 % HR

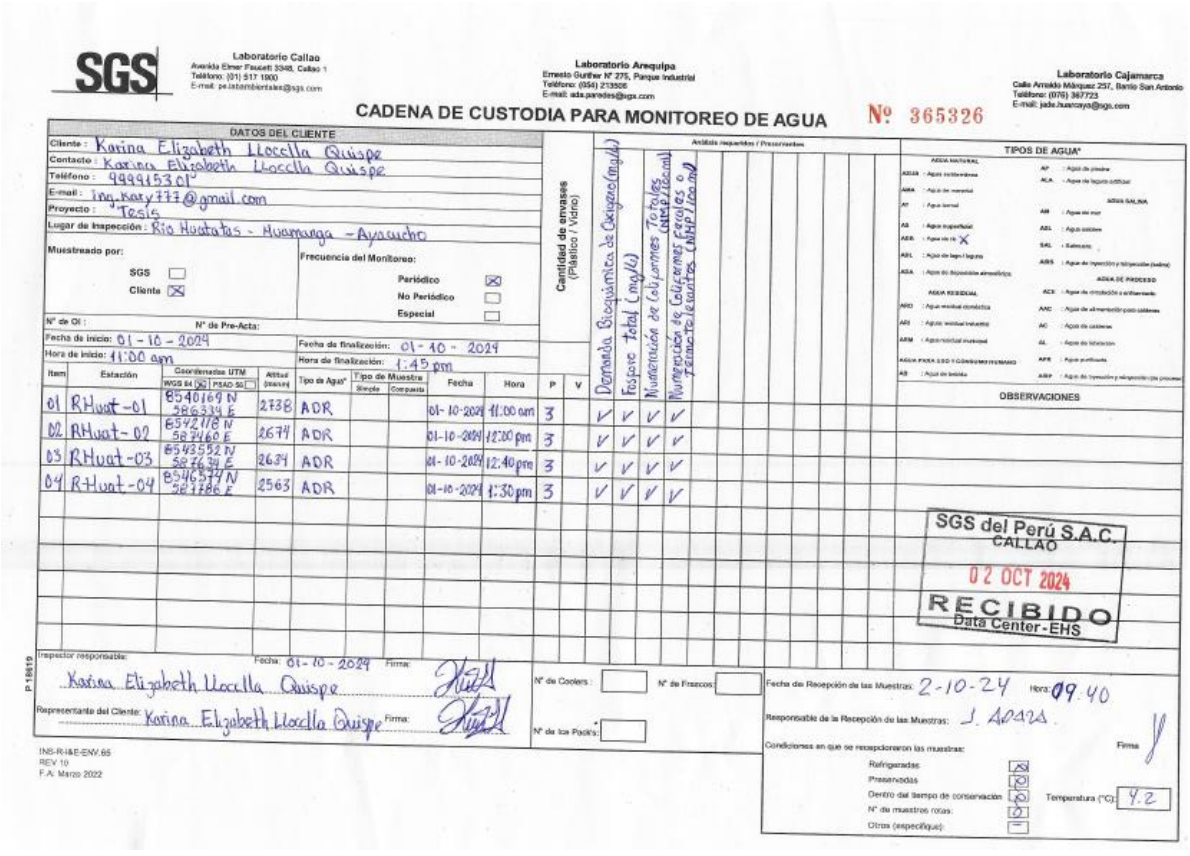
Este Certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos y/o modificaciones requieren la autorización del Laboratorio de Metrología OHLAB S.A.C. Certificado sin firma y sello carecen de validez.
Los resultados de este certificado no deben utilizarse como certificado de conformidad de producto. Los resultados se refieren exclusivamente a los ítems recibidos, el laboratorio OHLAB S.A.C. declina de toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciere de este certificado.

Fecha de emisión: 2023 - 12 - 22

OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY S.A.C.
Laboratorio de Metrología
Avenida La Marina 365, La Perla, Callao - Perú
Telf.: (01) 454 3009 Cel.: (+51) 983 731 672
Email: comercial@ohlaboratory.com
Web: www.ohlaboratory.com

Juan Diego Arribasplata JEFE DE LABORATORIO DE METROLOGÍA

Anexo 2.3 Cadena custodia SGS DEL PERÚ



SGS

Laboratorio Callao
Avenida Elmer Faucett 3240, Callao 1
Teléfono: (01) 517 1900
E-mail: pe.laboratorioslatam@sgs.com

Laboratorio Arequipa
Ernesto Gunther N° 275, Parque Industrial
Teléfono: (054) 213506
E-mail: ada.paredes@sgs.com

Laboratorio Cajamarca
Calle Arnaldo Márquez 257, Barrio San Antonio
Teléfono: (076) 367723
E-mail: jade.huarcaya@sgs.com

CADENA DE CUSTODIA PARA MONITOREO DE AGUA

Nº 365326

DATOS DEL CLIENTE

Cliente : Karina Elizabeth Llocclla Quispe
Contacto : Karina Elizabeth Llocclla Quispe
Teléfono : 999915301
E-mail : ing.kary777@gmail.com
Proyecto : Tesis
Lugar de inspección : Río Huatatas - Huamanga - Ayacucho
Muestreado por: SGS ☐ Cliente ☒
Frecuencia del Monitoreo: Periódico ☒ No Periódico ☐ Especial ☐
Nº de OI : Nº de Pre-Acta:
Fecha de inicio: 01-10-2024 Fecha de finalización: 01-10-2024
Hora de inicio: 11:00 am Hora de finalización: 1:45 pm

Ítem	Estación	Coordenadas UTM WGS 84 ☒ PSAD-56 ☐	Altitud (msnm)	Tipo de Agua*	Tipo de Muestra Simple	Tipo de Muestra Compuesta	Fecha	Hora	P	V	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Numeración de Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Numeración de Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)
01	RHuat-01	8540169 N 586334 E	2738	ADR			01-10-2024	11:00 am	3		✓	✓	✓	✓
02	RHuat-02	8542118 N 587460 E	2674	ADR			01-10-2024	12:00 pm	3		✓	✓	✓	✓
03	RHuat-03	8543552 N 587634 E	2634	ADR			01-10-2024	12:40 pm	3		✓	✓	✓	✓
04	RHuat-04	8546574 N 587786 E	2563	ADR			01-10-2024	1:30 pm	3		✓	✓	✓	✓

Cantidad de envases (Plástico / Vidrio)

TIPOS DE AGUA*: AP : Agua de pozo; ACA : Agua de riego artificial; AR : Agua de río; AS : Agua superficial; ASL : Agua salobre; ASR : Agua de río ☒; SAL : Salmuera; ABL : Agua de lago / laguna; ABS : Agua de inyección y lixiviación (salina); AGA : Agua de dispositivos atmosféricos; AGUA DE PROCESO; AGUA RESIDUAL; ACS : Agua de circulación y enfriamiento; ARD : Agua residual doméstica; ANC : Agua de alimentación para calderas; ARI : Agua residual industrial; AC : Agua de calderas; ARM : Agua residual municipal; AL : Agua de lixiviación; AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO; APB : Agua potable; AB : Agua de bebida; ARP : Agua de inyección y reinyección (de proceso)

OBSERVACIONES

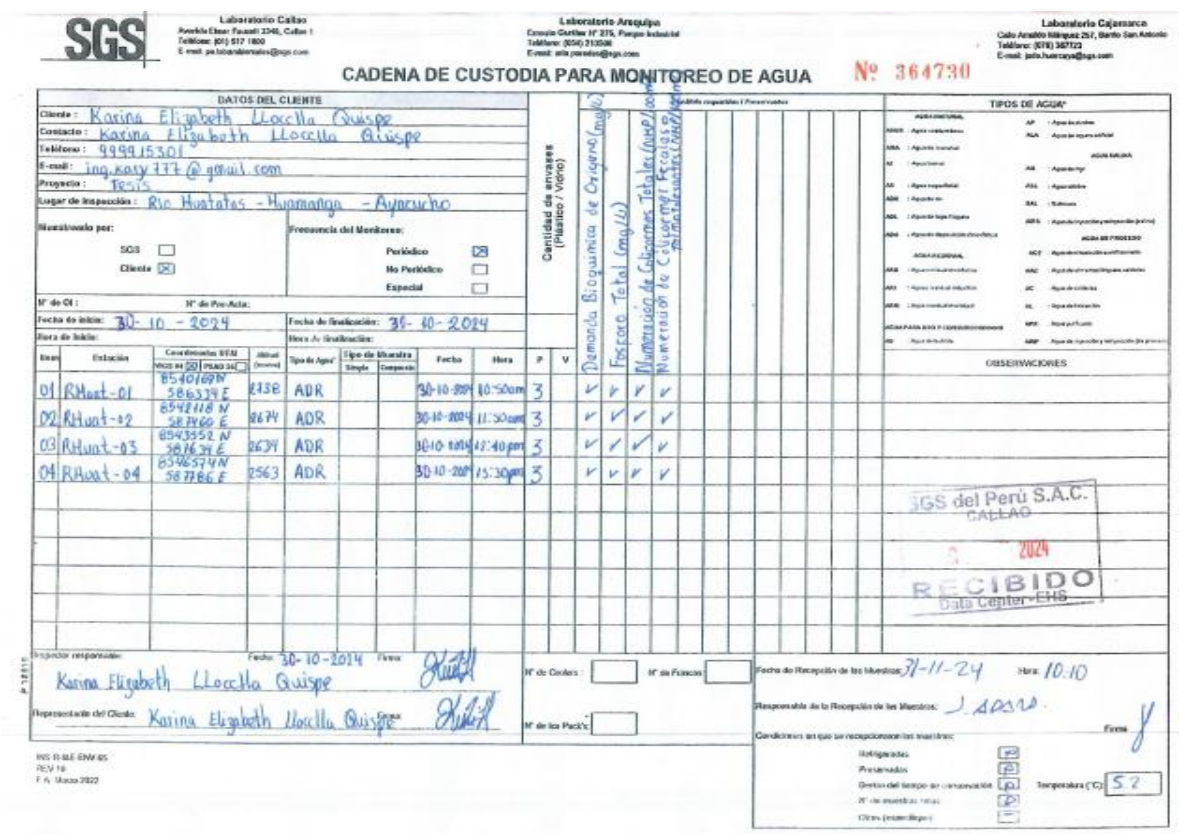
SGS del Perú S.A.C. CALLAO 02 OCT 2024 RECIBIDO Data Center-EHS

Inspector responsable: Karina Elizabeth Llocclla Quispe Fecha: 01-10-2024 Firma:
Representante del Cliente: Karina Elizabeth Llocclla Quispe Firma:

Nº de Coolers: Nº de Frascos: Nº de los Pack's:

Fecha de Recepción de las Muestras: 2-10-24 Hora: 09.40
Responsable de la Recepción de las Muestras: J. Apaza. Firma:
Condiciones en que se recepcionaron las muestras:
Refrigeradas ☒ Preservadas ☒ Dentro del tiempo de conservación ☒ Nº de muestras rotas ☐ Otros (especifique) ☐
Temperatura (°C): 4.2

INS-R-I&E-ENV.65 REV 10 F.A. Marzo 2022



SGS

Laboratorio Callao
Avenida Elmer Faucett 3240, Callao 1
Teléfono: (01) 517 1900
E-mail: pe.laboratorioslatam@sgs.com

Laboratorio Arequipa
Ernesto Gunther N° 275, Parque Industrial
Teléfono: (054) 213506
E-mail: ada.paredes@sgs.com

Laboratorio Cajamarca
Calle Arnaldo Márquez 257, Barrio San Antonio
Teléfono: (076) 367723
E-mail: jade.huarcaya@sgs.com

CADENA DE CUSTODIA PARA MONITOREO DE AGUA

Nº 364730

DATOS DEL CLIENTE

Cliente : Karina Elizabeth Llocclla Quispe
Contacto : Karina Elizabeth Llocclla Quispe
Teléfono : 999915301
E-mail : ing.kary777@gmail.com
Proyecto : Tesis
Lugar de inspección : Río Huatatas - Huamanga - Ayacucho
Muestreado por: SGS ☐ Cliente ☒
Frecuencia del Monitoreo: Periódico ☒ No Periódico ☐ Especial ☐
Nº de OI : Nº de Pre-Acta:
Fecha de inicio: 30-10-2024 Fecha de finalización: 30-10-2024
Hora de inicio: Hora de finalización:

Ítem	Estación	Coordenadas UTM WGS 84 ☒ PSAD-56 ☐	Altitud (msnm)	Tipo de Agua*	Tipo de Muestra Simple	Tipo de Muestra Compuesta	Fecha	Hora	P	V	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Numeración de Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Numeración de Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)
01	RHuat-01	8540169N 586334E	2738	ADR			30-10-2024	10:50am	3		✓	✓	✓	✓
02	RHuat-02	8542118 N 587460 E	2674	ADR			30-10-2024	11:50am	3		✓	✓	✓	✓
03	RHuat-03	8543552 N 587634 E	2634	ADR			30-10-2024	12:40 pm	3		✓	✓	✓	✓
04	RHuat-04	8546574N 587786 E	2563	ADR			30-10-2024	15:30pm	3		✓	✓	✓	✓

Cantidad de envases (Plástico / Vidrio)

TIPOS DE AGUA*: AP : Agua de pozo; ACA : Agua de riego artificial; AR : Agua de río; AS : Agua superficial; ASL : Agua salobre; ASR : Agua de río; SAL : Salmuera; ABL : Agua de lago / laguna; ABS : Agua de inyección y lixiviación (salina); AGA : Agua de dispositivos atmosféricos; AGUA DE PROCESO; AGUA RESIDUAL; ACS : Agua de circulación y enfriamiento; ARD : Agua residual doméstica; ANC : Agua de alimentación para calderas; ARI : Agua residual industrial; AC : Agua de calderas; ARM : Agua residual municipal; AL : Agua de lixiviación; AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO; APB : Agua potable; AB : Agua de bebida; ARP : Agua de inyección y reinyección (de proceso)

OBSERVACIONES

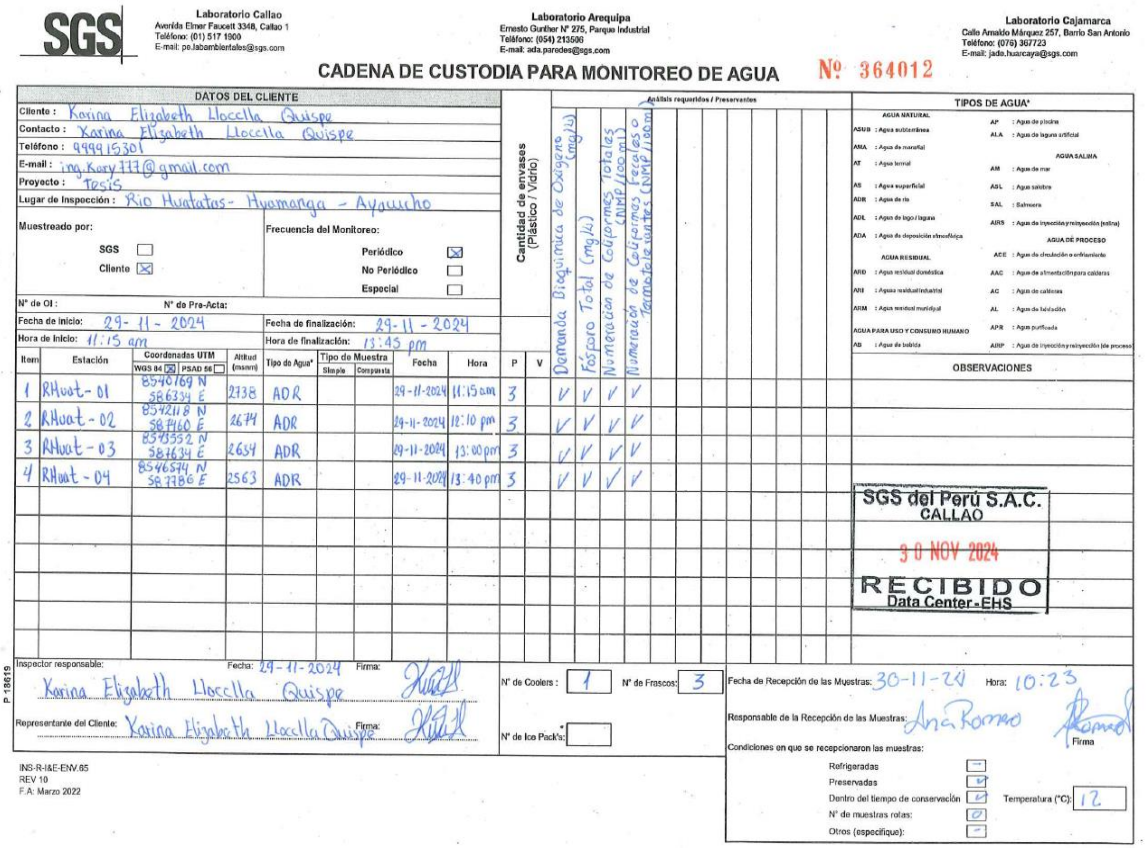
SGS del Perú S.A.C. CALLAO 2024 RECIBIDO Data Center-EHS

Inspector responsable: Karina Elizabeth Llocclla Quispe Fecha: 30-10-2024 Firma:
Representante del Cliente: Karina Elizabeth Llocclla Quispe Firma:

Nº de Coolers: Nº de Frascos: Nº de los Pack's:

Fecha de Recepción de las Muestras: 31-11-24 Hora: 10.10
Responsable de la Recepción de las Muestras: J. Apaza. Firma:
Condiciones en que se recepcionaron las muestras:
Refrigeradas ☒ Preservadas ☒ Dentro del tiempo de conservación ☒ Nº de muestras rotas ☐ Otros (especifique) ☐
Temperatura (°C): 5.2

INS-R-I&E-ENV.65 REV 10 F.A. Marzo 2022



SGS

Laboratorio Callao
Avenida Elmer Faucett 3348, Callao 1
Teléfono: (01) 517 1900
E-mail: pe.labambientales@sgs.com

Laboratorio Arequipa
Ernesto Gunther N° 275, Parque Industrial
Teléfono: (054) 213500
E-mail: ada.paredes@sgs.com

Laboratorio Cajamarca
Calle Arnaldo Márquez 257, Barrio San Antonio
Teléfono: (076) 367723
E-mail: jade.huarcaya@sgs.com

CADENA DE CUSTODIA PARA MONITOREO DE AGUA

Nº 364012

DATOS DEL CLIENTE

Cliente : Karina Elizabeth Uocclla Quispe
Contacto : Karina Elizabeth Uocclla Quispe
Teléfono : 999915301
E-mail : ing.Kary777@gmail.com
Proyecto : Tesis
Lugar de Inspección : Rio Huatatas - Huamanga - Ayacucho

Muestreado por: SGS ☐ Cliente ☒
Frecuencia del Monitoreo: Periódico ☒ No Periódico ☐ Especial ☐

N° de OI : N° de Pre-Acta:
Fecha de inicio: 29-11-2024 Fecha de finalización: 29-11-2024
Hora de Inicio: 11:15 am Hora de finalización: 13:45 pm

Item	Estación	Coordenadas UTM WGS 84 ☒ PSAD 56 ☐	Altitud (msnm)	Tipo de Agua*	Tipo de Muestra Simple	Tipo de Muestra Compuesta	Fecha	Hora	P	V	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	Numeración de Coliformes Totales (NMP/100 mL)	Numeración de Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 mL)
1	RHuat-01	8540769 N 586334 E	2738	ADR			29-11-2024	11:15 am	3		V	V	V	V
2	RHuat-02	8542118 N 587460 E	2674	ADR			29-11-2024	12:10 pm	3		V	V	V	V
3	RHuat-03	8543552 N 587634 E	2654	ADR			29-11-2024	13:00 pm	3		V	V	V	V
4	RHuat-04	8546574 N 587786 E	2563	ADR			29-11-2024	13:40 pm	3		V	V	V	V

Cantidad de envases (Plástico / Vidrio)

Análisis requeridos / Preservantes

TIPOS DE AGUA*

AGUA NATURAL: ASUB : Agua subterránea; ANA : Agua de manantial; AT : Agua termal; AS : Agua superficial; ADR : Agua de río; ADL : Agua de lago / laguna; ADA : Agua de deposición atmosférica
AGUA RESIDUAL: ARD : Agua residual doméstica; ARI : Agua residual industrial; ARM : Agua residual municipal
AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO: AB : Agua de bebida
AP : Agua de piscina; ALA : Agua de laguna artificial
AGUA SALINA: AM : Agua de mar; ASL : Agua salobre; SAL : Salmuera; ARS : Agua de inyección y reinyección (salina)
AGUA DE PROCESO: ACE : Agua de circulación o enfriamiento; AAC : Agua de alimentación para calderos; AC : Agua de calderos; AL : Agua de lavandería; APR : Agua purificada; ARP : Agua de inyección y reinyección (de proceso)

OBSERVACIONES

SGS del Perú S.A.C. CALLAO 30 NOV 2024 RECIBIDO Data Center-EHS

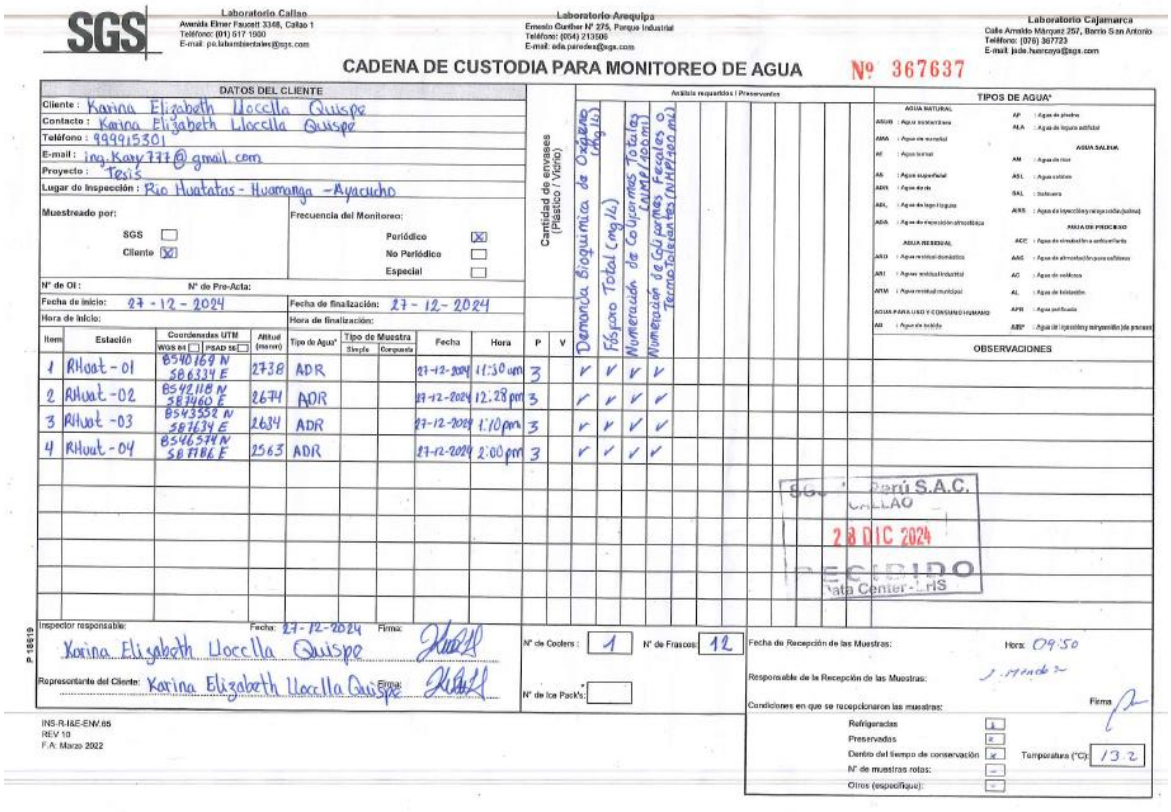
Inspector responsable: Karina Elizabeth Uocclla Quispe Fecha: 29-11-2024 Firma:
Representante del Cliente: Karina Elizabeth Uocclla Quispe Firma:

N° de Coolers : 1 N° de Frascos: 3
N° de Ice Pack's:

Fecha de Recepción de las Muestras: 30-11-24 Hora: 10:23
Responsable de la Recepción de las Muestras: Ana Romo Firma
Condiciones en que se recepcionaron las muestras:
Refrigeradas —
Preservadas P
Dentro del tiempo de conservación C Temperatura (°C): 12
N° de muestras rotas: C
Otros (especifique): —

P 18619

INS-R-I&E-ENV.65
REV 10
F.A: Marzo 2022



SGS

Laboratorio Callao
Avenida Elmer Faucett 3348, Callao 1
Teléfono: (01) 517 1900
E-mail: pe.labambientales@sgs.com

Laboratorio Arequipa
Ernesto Gunther N° 275, Parque Industrial
Teléfono: (054) 213500
E-mail: ada.paredes@sgs.com

Laboratorio Cajamarca
Calle Arnaldo Márquez 257, Barrio San Antonio
Teléfono: (076) 367723
E-mail: jade.huarcaya@sgs.com

CADENA DE CUSTODIA PARA MONITOREO DE AGUA

Nº 367637

DATOS DEL CLIENTE

Cliente : Karina Elizabeth Uocclla Quispe
Contacto : Karina Elizabeth Uocclla Quispe
Teléfono : 999915301
E-mail : ing.Kary777@gmail.com
Proyecto : Tesis
Lugar de Inspección : Rio Huatatas - Huamanga - Ayacucho

Muestreado por: SGS ☐ Cliente ☒
Frecuencia del Monitoreo: Periódico ☒ No Periódico ☐ Especial ☐

N° de OI : N° de Pre-Acta:
Fecha de inicio: 27-12-2024 Fecha de finalización: 27-12-2024
Hora de Inicio: Hora de finalización:

Item	Estación	Coordenadas UTM WGS 84 ☐ PSAD 56 ☐	Altitud (msnm)	Tipo de Agua*	Tipo de Muestra Simple	Tipo de Muestra Compuesta	Fecha	Hora	P	V	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	Numeración de Coliformes Totales (NMP/100 mL)	Numeración de Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 mL)
1	RHuat-01	8540769 N 586334 E	2738	ADR			27-12-2024	11:30 am	3		V	V	V	V
2	RHuat-02	8542118 N 587460 E	2674	ADR			27-12-2024	12:28 pm	3		V	V	V	V
3	RHuat-03	8543552 N 587634 E	2634	ADR			27-12-2024	1:10 pm	3		V	V	V	V
4	RHuat-04	8546574 N 587786 E	2563	ADR			27-12-2024	2:00 pm	3		V	V	V	V

Cantidad de envases (Plástico / Vidrio)

Análisis requeridos / Preservantes

TIPOS DE AGUA*

AGUA NATURAL: ASUB : Agua subterránea; ANA : Agua de manantial; AT : Agua termal; AS : Agua superficial; ADR : Agua de río; ADL : Agua de lago / laguna; ADA : Agua de deposición atmosférica
AGUA RESIDUAL: ARD : Agua residual doméstica; ARI : Agua residual industrial; ARM : Agua residual municipal
AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO: AB : Agua de bebida
AP : Agua de piscina; ALA : Agua de laguna artificial
AGUA SALINA: AM : Agua de mar; ASL : Agua salobre; SAL : Salmuera; ARS : Agua de inyección y reinyección (salina)
AGUA DE PROCESO: ACE : Agua de circulación o enfriamiento; AAC : Agua de alimentación para calderos; AC : Agua de calderos; AL : Agua de lavandería; APR : Agua purificada; ARP : Agua de inyección y reinyección (de proceso)

OBSERVACIONES

SGS del Perú S.A.C. CALLAO 28 DIC 2024 RECIBIDO Data Center-EHS

Inspector responsable: Karina Elizabeth Uocclla Quispe Fecha: 27-12-2024 Firma:
Representante del Cliente: Karina Elizabeth Uocclla Quispe Firma:

N° de Coolers : 1 N° de Frascos: 12
N° de Ice Pack's:

Fecha de Recepción de las Muestras: Hora: 09:50
Responsable de la Recepción de las Muestras: J. Mendez Firma
Condiciones en que se recepcionaron las muestras:
Refrigeradas R
Preservadas P
Dentro del tiempo de conservación C Temperatura (°C): 13.2
N° de muestras rotas: —
Otros (especifique): —

P 18619

INS-R-I&E-ENV.65
REV 10
F.A: Marzo 2022

Anexo 2.4 Resultados laboratorio acreditado SGS DEL PERÚ

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO
MA2432050-0

LLOCCLLA QUISPE KARINA ELIZABETH

AA.HH 11 DE JUNIO MZ A LOTE 17 - AYACUCHO - HUAMANGA

ENV / LB-355540-003

PROCEDENCIA : Rio Huatatas - Huamanga - Ayacucho

Fecha de Recepción SGS : 02-10-2024

Fecha de Ejecución : Del 02-10-2024 al 11-10-2024

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
RHuat-01
RHuat-02
RHuat-03
RHuat-04

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 11/10/2024

Frank M. Julcamoro Quispe
C.Q.P. 1033
Supervisor de Laboratorio

Elizabeth V. Capuñay España
C.B.P 8508
Coordinador de Laboratorio Microbiología

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092
Miembro del Grupo SGS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO
MA2432050-0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA					RHuat-01 8540158N / 586331E 01/10/2024 11:00:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO	RHuat-02 8542234N / 587470E 01/10/2024 12:00:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	**Referencia**	**Unidad**	**LD**	**LC**	**Resultado ± Incertidumbre**	**Resultado ± Incertidumbre**
Análisis Generales						
Fósforo Total	EW_APHA4500PJF	mg P/L	0.005	0.010	<0.010	0.040
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.8	<2.8	<2.8
Análisis Microbiológicos						
Numeración de Coliformes Totales	EW_APHA9221B	NMP/100 mL	--	--	130	490
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP	NMP/100 mL	--	--	4.5	33

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA					RHuat-03 8543563N / 587628E 01/10/2024 12:40:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO	RHuat-04 8546565N / 587787E 01/10/2024 13:30:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	**Referencia**	**Unidad**	**LD**	**LC**	**Resultado ± Incertidumbre**	**Resultado ± Incertidumbre**
Análisis Generales						
Fósforo Total	EW_APHA4500PJF	mg P/L	0.005	0.010	0.053 ± 0.0040	0.033
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.8	<2.8	<2.8
Análisis Microbiológicos						
Numeración de Coliformes Totales	EW_APHA9221B	NMP/100 mL	--	--	330	1100
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP	NMP/100 mL	--	--	79	230

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

SGS del Perú S.A.C.
Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO
MA2435389-0

LLOCCLLA QUISPE KARINA ELIZABETH

AA.HH 11 DE JUNIO MZ A LOTE 17 - AYACUCHO - HUAMANGA

ENV / LB-355678-002

PROCEDENCIA : Rio Huatatas - Huamangas - Ayacucho

Fecha de Recepción SGS : 31-10-2024

Fecha de Ejecución : Del 31-10-2024 al 08-11-2024

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
RHuat-01
RHuat-02
RHuat-03
RHuat-04

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 08/11/2024

Frank M. Julcamoro Quispe
C.Q.P. 1033
Supervisor de Laboratorio

Elizabeth V. Capuñay España
C.B.P 8508
Coordinador de Laboratorio Microbiología

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 505 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 002

Miembro del Grupo SGS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO
MA2435389-0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA					RHuat-01 8540158N / 586331E 30/10/2024 10:50:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO	RHuat-02 8542234N / 587470E 30/10/2024 11:50:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	**Referencia**	**Unidad**	**LD**	**LC**	**Resultado ± Incertidumbre**	**Resultado ± Incertidumbre**
Análisis Generales						
Fósforo Total	EW_APHA4500PJF	mg P/L	0.005	0.010	0.083 ± 0.0050	0.044
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
Análisis Microbiológicos						
Numeración de Coliformes Totales	EW_APHA9221B	NMP/100 mL	--	--	33	350
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP	NMP/100 mL	--	--	7.8	33

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA					RHuat-03 8543563N / 587628E 30/10/2024 12:40:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO	RHuat-04 8546565N / 587787E 30/10/2024 13:30:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	**Referencia**	**Unidad**	**LD**	**LC**	**Resultado ± Incertidumbre**	**Resultado ± Incertidumbre**
Análisis Generales						
Fósforo Total	EW_APHA4500PJF	mg P/L	0.005	0.010	0.052 ± 0.0040	0.056 ± 0.0040
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
Análisis Microbiológicos						
Numeración de Coliformes Totales	EW_APHA9221B	NMP/100 mL	--	--	790	1300
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP	NMP/100 mL	--	--	23	230

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao | Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial | Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio | Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO
MA2439684-0

LLOCCLLA QUISPE KARINA ELIZABETH

AA.HH 11 DE JUNIO MZ A LOTE 17 - AYACUCHO - HUAMANGA

ENV / LB-355803-002

Fecha de Recepción SGS : 30-11-2024

Fecha de Ejecución : Del 30-11-2024 al 07-12-2024

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
RHuat-01
RHuat-02
RHuat-03
RHuat-04

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 10/12/2024

Frank M. Julcamoro Quispe
C.Q.P. 1033
Supervisor de Laboratorio

Elizabeth V. Capuñay España
C.B.P 8508
Coordinador de Laboratorio Microbiología

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO
MA2439684-0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA					RHuat-01 8540158N / 586331E 29/11/2024 11:15:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO	RHuat-02 8542234N / 587470E 29/11/2024 12:10:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	**Referencia**	**Unidad**	**LD**	**LC**	**Resultado**	**Resultado**
Análisis Generales						
Fósforo Total	EW_APHA4500PJF	mg P/L	0.005	0.010	0.073	0.097
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
Análisis Microbiológicos						
Numeración de Coliformes Totales	EW_APHA9221B	NMP/100 mL	--	--	330	1300
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP	NMP/100 mL	--	--	130	330

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA					RHuat-03 8543563N / 587628E 29/11/2024 13:00:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO	RHuat-04 8546565N / 587787E 29/11/2024 13:40:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	**Referencia**	**Unidad**	**LD**	**LC**	**Resultado**	**Resultado**
Análisis Generales						
Fósforo Total	EW_APHA4500PJF	mg P/L	0.005	0.010	0.101	0.094
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
Análisis Microbiológicos						
Numeración de Coliformes Totales	EW_APHA9221B	NMP/100 mL	--	--	1400	3500
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP	NMP/100 mL	--	--	230	1300

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO
MA2443357-0

LLOCCLLA QUISPE KARINA ELIZABETH

AA.HH 11 DE JUNIO MZ A LOTE 17 - AYACUCHO - HUAMANGA

ENV / LB-355931-002

PROCEDENCIA : Rio Huatatas - Huamanga - Ayacucho

Fecha de Recepción SGS : 28-12-2024

Fecha de Ejecución : Del 28-12-2024 al 04-01-2025

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
RHuat-01
RHuat-02
RHuat-03
RHuat-04

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 04/01/2025

Frank M. Julcamoro Quispe
C.Q.P. 1033
Supervisor de Laboratorio

Elizabeth V. Capuñay España
C.B.P 8508
Coordinador de Laboratorio Microbiología

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

SGS del Perú S.A.C.
Av. Elmer Faucett 3348 Callao
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio
Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Arequipa t (054) 213 508 e Pe.servicios@sgs.com
Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO
MA2443357-0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA					RHuat-01 8540158N / 586331E 27/12/2024 11:30:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO	RHuat-02 8542234N / 587470E 27/12/2024 12:28:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	**Referencia**	**Unidad**	**LD**	**LC**	**Resultado**	**Resultado**
Análisis Generales						
Fósforo Total	EW_APHA4500P-F	mg P/L	0.005	0.010	0.028	0.026
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
Análisis Microbiológicos						
Numeración de Coliformes Totales	EW_APHA9221B	NMP/100 mL	--	--	700	2400
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP	NMP/100 mL	--	--	33	33

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA SUB CATEGORIA					RHuat-03 8543563N / 587628E 27/12/2024 13:10:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO	RHuat-04 8545565N / 587787E 27/12/2024 14:00:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO
Parámetro	**Referencia**	**Unidad**	**LD**	**LC**	**Resultado**	**Resultado**
Análisis Generales						
Fósforo Total	EW_APHA4500P-F	mg P/L	0.005	0.010	0.028	0.032
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
Análisis Microbiológicos						
Numeración de Coliformes Totales	EW_APHA9221B	NMP/100 mL	--	--	3500	5400
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP	NMP/100 mL	--	--	330	790

SGS del Perú S.A.C.
Av. Elmer Faucett 3348 Callao 1 Callao t (511) 517 1900 www.sgs.pe
Ernesto Gunther 275 Parque Industrial Arequipa t (054) 213 506 e Pe.servicios@sgs.com
Jr. Arnaldo Márquez Ba. San Antonio Cajamarca t (076) 366 092

Miembro del Grupo SGS

Anexo 2.5 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua D. S. N °004-2017-MINAM.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO_3^-) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH_3)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081

ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
(b) Después de la filtración simple.
(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO_3^--N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3^-).
Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH_3) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

(2) Aplicar la Tabla Nº 2 sobre Estándar de calidad de Amoniaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3).

Anexo 3 Panel fotográfico

Figura 29

Reconocimiento y toma de datos en campo en la temporada de estiaje (octubre, noviembre y diciembre del 2024)



Figura 30

Calibración en campo del equipo multiparámetro HQ40d Hach.



Figura 31

Recojo de muestras en la estación RHuat-01 en la temporada de estiaje (octubre, noviembre y diciembre del 2024)

N: 8540158 m S: 586331 m Altitud: 2738 m.s.n.m



Figura 32

Recojo de muestras en la estación RHuat-02 en la temporada de estiaje (octubre, noviembre y diciembre del 2024)

N: 8542234 m S: 587470 m Altitud: 2674 m.s.n.m



Figura 33

Recojo de muestras en la estación RHuat-03 en la temporada de estiaje (octubre, noviembre y diciembre del 2024)

N: 8543563 m S: 587628 m Altitud: 2634 m.s.n.m



Figura 34

Recojo de muestras en la estación RHuat-04 en la temporada de estiaje (octubre, noviembre y diciembre del 2024)

N: 8546565 m S: 587787 m Altitud: 2563 m.s.n.m



Figura 35

Lecturas de parámetros in situ en el multiparámetro HQ40d HACH



Figura 36

Contaminación por la inadecuada disposición de residuos sólidos y el lavado de ropa



Figura 37

Disposición de muestras recogidas de campo para determinación en laboratorio



Figura 38

Equipos y materiales utilizados en laboratorio de la UNSCH



Figura 39

Insumos y reactivos utilizados en laboratorio de la UNSCH



Figura 40

Determinación de la dureza total (mg/L), por el método de titulación





Figura 41

Determinación de alcalinidad (mg/L) por el método de titulación





Figura 42

Determinación de sólidos suspendidos totales (mg/L)



Anexo 4 Datos obtenidos en campo (In situ) y en laboratorio (Ex situ).

Coliformes totales (NMP/100 ml)					
Estación de muestreo	Resultado	01/10/2024	30/10/2024	29/11/2024	27/12/2024
		M1	M2	M3	M4
RHuat-01	R1	130,00	33,00	330,00	700,00
RHuat-02	R1	490,00	350,00	1300,00	2400,00
RHuat-03	R1	330,00	790,00	1400,00	3500,00
RHuat-04	R1	1100,00	1300,00	3500,00	5400,00

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1 son los resultados para coliformes totales SGS DEL PERÚ (INACAL).

Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)					
Estación de muestreo	Resultado	01/10/2024	30/10/2024	29/11/2024	27/12/2024
		M1	M2	M3	M4
RHuat-01	R1	4,50	7,80	130,00	33,00
RHuat-02	R1	33,00	33,00	330,00	33,00
RHuat-03	R1	79,00	23,00	230,00	330,00
RHuat-04	R1	230,00	230,00	1300,00	790,00

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1 son los resultados para coliformes termotolerantes SGS DEL PERÚ (INACAL).

Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)					
Estación de muestreo	Resultado	01/10/2024	30/10/2024	29/11/2024	27/12/2024
		M1	M2	M3	M4
RHuat-01	R1	<2,6	<2,6	<2,6	<2,6
RHuat-02	R1	<2,6	<2,6	<2,6	<2,6
RHuat-03	R1	<2,6	<2,6	<2,6	<2,6
RHuat-04	R1	<2,6	<2,6	<2,6	<2,6

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1 son los resultados para demanda bioquímica de oxígeno SGS DEL PERÚ (INACAL).

Oxígeno disuelto (mg/L)					
Estación de muestreo	Resultado	01/10/2024	30/10/2024	29/11/2024	27/12/2024
		M1	M2	M3	M4
RHuat-01	R1	5,77	5,31	5,75	5,69
	R2	5,81	5,38	5,72	5,77
	R3	5,74	5,33	5,65	5,69
RHuat-02	R1	6,11	5,53	5,87	5,62
	R2	6,10	5,56	5,89	5,66
	R3	6,13	5,53	5,85	5,67
RHuat-03	R1	5,24	4,87	5,49	5,32
	R2	5,21	4,88	5,52	5,36
	R3	5,26	4,86	5,47	5,39
RHuat-04	R1	5,39	5,00	5,46	5,37
	R2	5,42	4,97	5,48	5,53
	R3	5,41	4,96	5,50	5,50

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente para oxígeno disuelto.

Temperatura del Agua (°C)					
Estación de Muestreo	Resultado	01/10/2024	30/10/2024	29/11/2024	27/12/2024
		M1	M2	M3	M4
RHuat-01	R1	22,60	24,30	18,40	21,20
	R2	22,50	24,30	18,40	21,00
	R3	22,50	24,40	18,10	21,30
RHuat-02	R1	24,80	25,20	21,20	20,80
	R2	24,80	25,30	21,50	20,80
	R3	24,50	25,30	21,40	20,90
RHuat-03	R1	24,60	24,60	22,00	22,90
	R2	24,80	24,70	21,80	22,80
	R3	24,70	24,80	21,70	22,60
RHuat-04	R1	25,00	25,50	22,40	24,50
	R2	25,00	25,50	22,40	24,40
	R3	25,10	25,60	22,50	24,20

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente para temperatura del agua.

Presión Atmosférica (hPa)					
Estación de Muestreo	Resultado	01/10/2024	30/10/2024	29/11/2024	27/12/2024
		M1	M2	M3	M4
RHuat-01	R1	736,00	734,00	736,00	735,00
	R2	736,00	734,00	736,00	735,00
	R3	736,00	734,00	736,00	735,00
RHuat-02	R1	737,00	738,00	742,00	740,00
	R2	737,00	738,00	742,00	740,00
	R3	737,00	738,00	742,00	740,00
RHuat-03	R1	742,00	743,00	744,00	741,00
	R2	742,00	743,00	744,00	741,00
	R3	742,00	743,00	744,00	741,00
RHuat-04	R1	748,00	748,00	750,00	746,00
	R2	748,00	748,00	750,00	746,00
	R3	748,00	748,00	750,00	746,00

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente para presión atmosférica local.

% de saturación de oxígeno (%)					
Estación de muestreo	Resultado	01/10/2024	30/10/2024	29/11/2024	27/12/2024
		M1	M2	M3	M4
RHuat-01	R1	91,91	87,64	83,52	88,53
	R2	92,50	88,65	83,13	89,35
	R3	91,39	88,04	81,35	88,73
RHuat-02	R1	100,95	91,84	90,45	86,07
	R2	100,81	92,64	91,34	86,73
	R3	100,87	92,21	90,60	87,06
RHuat-03	R1	85,79	79,69	85,89	84,43
	R2	85,44	79,92	86,03	85,01
	R3	86,18	79,74	85,04	85,35
RHuat-04	R1	88,02	82,64	85,24	87,29
	R2	88,45	82,06	85,52	89,78
	R3	88,52	82,11	85,89	89,14

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente para % de saturación de oxígeno.

Alcalinidad (mg/L)					
Estación de muestreo	Resultado	01/10/2024	30/10/2024	29/11/2024	27/12/2024
		M1	M2	M3	M4
RHuat-01	R1	110,76	87,33	59,64	82,01
	R2	111,83	88,40	61,77	80,94
	R3	109,70	87,33	61,77	80,94
RHuat-02	R1	104,37	80,94	57,51	91,59
	R2	106,50	82,01	57,51	92,66
	R3	105,44	80,94	58,58	93,72
RHuat-03	R1	107,57	87,33	62,84	87,33
	R2	106,50	87,33	63,90	87,33
	R3	106,50	86,27	64,97	86,26
RHuat-04	R1	170,40	159,75	91,59	121,41
	R2	169,34	160,82	93,72	123,54
	R3	170,40	159,75	93,72	123,54

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente para alcalinidad.

Dureza total (mg/L)					
Estación de muestreo	Resultado	01/10/2024	30/10/2024	29/11/2024	27/12/2024
		M1	M2	M3	M4
RHuat-01	R1	54,46	56,40	44,73	48,62
	R2	54,46	55,43	44,73	46,68
	R3	55,43	56,40	45,71	48,62
RHuat-02	R1	52,51	61,27	43,76	58,35
	R2	52,51	60,29	42,79	60,29
	R3	51,54	60,29	42,79	60,29
RHuat-03	R1	60,29	58,35	38,90	75,85
	R2	59,32	60,29	39,87	73,91
	R3	61,27	59,32	40,84	75,85
RHuat-04	R1	118,64	119,61	93,36	83,63
	R2	117,67	118,64	92,39	85,58
	R3	118,64	119,61	91,41	83,63

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente para dureza total.

Potencial de hidrógeno (Ph)					
Estación de Muestreo	Resultado	01/10/2024	30/10/2024	29/11/2024	27/12/2024
		M1	M2	M3	M4
RHuat-01	R1	8,81	9,20	8,37	8,11
	R2	8,83	9,14	8,30	8,10
	R3	8,80	9,10	8,14	8,19
RHuat-02	R1	9,10	9,22	8,77	8,80
	R2	9,20	9,35	8,52	8,81
	R3	9,10	9,36	8,60	8,80
RHuat-03	R1	8,85	8,87	8,75	8,71
	R2	8,91	8,86	8,68	8,82
	R3	8,77	8,73	8,86	8,90
RHuat-04	R1	9,07	8,78	8,54	9,03
	R2	9,15	8,86	8,56	9,04
	R3	9,17	8,86	8,60	9,05

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente para potencial de hidrógeno.

Fósforo total (mg/L)					
Estación de Muestreo	Resultado	01/10/2024	30/10/2024	29/11/2024	27/12/2024
		M1	M2	M3	M4
RHuat-01	R1	0,010	0,068	0,073	0,028
	R2	0,010	0,063	0,073	0,028
	R3	0,010	0,058	0,073	0,028
RHuat-02	R1	0,040	0,044	0,097	0,026
	R2	0,040	0,044	0,097	0,026
	R3	0,040	0,044	0,097	0,026
RHuat-03	R1	0,057	0,056	0,101	0,028
	R2	0,053	0,052	0,101	0,028
	R3	0,049	0,048	0,101	0,028
RHuat-04	R1	0,033	0,060	0,094	0,032
	R2	0,033	0,056	0,094	0,032
	R3	0,033	0,052	0,094	0,032

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente para fósforo total.

Conductividad (µS/cm)					
Estación de Muestreo	Resultado	01/10/2024	30/10/2024	29/11/2024	27/12/2024
		M1	M2	M3	M4
RHuat-01	R1	175,00	171,50	126,70	80,90
	R2	176,10	171,20	126,15	81,30
	R3	176,70	172,20	125,80	81,10
RHuat-02	R1	218,50	196,90	160,70	86,00
	R2	216,30	193,80	161,00	86,40
	R3	219,60	194,60	160,90	86,20
RHuat-03	R1	210,30	202,70	135,10	93,10
	R2	211,70	201,20	135,80	93,10
	R3	210,00	202,00	136,00	92,90
RHuat-04	R1	398,00	386,00	186,10	139,90
	R2	396,80	386,50	187,20	140,10
	R3	399,00	388,00	186,90	140,20

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente para conductividad.

Sólidos suspendidos totales (mg/L)					
Estación de Muestreo	Resultado	01/10/2024	30/10/2024	29/11/2024	27/12/2024
		M1	M2	M3	M4
RHuat-01	R1	5,50	8,00	23,60	28,60
	R2	7,00	8,30	23,40	27,10
	R3	5,70	9,00	23,10	28,30
RHuat-02	R1	11,20	15,50	46,20	97,20
	R2	10,60	16,40	46,80	95,10
	R3	10,50	14,90	47,90	95,00
RHuat-03	R1	16,60	18,60	86,00	111,50
	R2	16,90	20,60	85,00	110,60
	R3	15,90	17,80	84,30	112,80
RHuat-04	R1	19,60	34,10	72,70	113,40
	R2	21,90	33,00	74,20	113,30
	R3	19,10	35,20	73,00	115,40

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente para sólidos suspendidos totales.

Anexo 5 Cálculo del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

$$\boldsymbol{ICOMO = \frac{1}{3}(I_{DBO_5} + I_{coliformes\ totales} + I_{oxigeno\ \%})} \text{..... } \textbf{(Ecuación 1)}$$

Donde:

- El índice de demanda bioquímica de oxígeno se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I_{DBO_5} = -0{,}05 + 0{,}70\ Log_{10} \times DBO\ (mg/L)$$

Condición:

Demanda bioquímica de oxígeno mayores a 30 mg/L, tienen $I_{DBO_5} = 1$

Demanda bioquímica de oxígeno menores a 2 mg/L, tienen $I_{DBO_5} = 0$

- Índice de coliformes totales se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I_{Col.\ Tot.} = -1{,}44 + 0{,}56\ Log_{10} \times Col.tot.(NMP/100mL)$$

Condición:

Coliformes totales mayores a 20 000 $NMP/100\ mL$, tienen $I_{Col.\ Tot.} = 1$

Coliformes totales menores a 500 $NMP/100\ mL$, tienen $I_{Col.\ Tot.} = 0$

- Índice de porcentaje de saturación se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I_{oxigeno\ \%} = 1 - 0{,}01 \times oxigeno\%$$

Condición:

Oxígenos (%) mayores a 100% tienen $I_{oxigeno\ \%} = 0$

Nota. Fuente: (Restrepo, Ramírez, & Cardeñosa, 1999).

Resultados primer muestreo M1 (01/10/2024)

Parámetros	Estaciones de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	2,59	2,59	2,59	2,59
	2,59	2,59	2,59	2,59
	2,59	2,59	2,59	2,59
Numeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	130,00	490,00	330,00	1100,00
	130,00	490,00	330,00	1100,00
	130,00	490,00	330,00	1100,00
% de saturación de oxigeno	91,91	100,95	85,79	88,02
	92,50	100,81	85,44	88,45
	91,39	100,87	86,18	88,52

De acuerdo a la condición

Índice	Estación			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
I. DBO_5	0,239	0,239	0,239	0,239
	0,239	0,239	0,239	0,239
	0,239	0,239	0,239	0,239
I. Coliformes totales	0,000	0,000	0,000	0,263
	0,000	0,000	0,000	0,263
	0,000	0,000	0,000	0,263
I. %Oxigeno	0,081	0,000	0,142	0,120
	0,075	0,000	0,146	0,115
	0,086	0,000	0,138	0,115

ICOMO	Estación			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	0,107	0,080	0,127	0,207
R2	0,105	0,080	0,128	0,206
R3	0,108	0,080	0,126	0,206

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOMO para el primer muestreo (M1).

Resultados segundo muestreo M2 (30/10/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	2,59	2,59	2,59	2,59
	2,59	2,59	2,59	2,59
	2,59	2,59	2,59	2,59
Numeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	33,00	350,00	790,00	1300,00
	33,00	350,00	790,00	1300,00
	33,00	350,00	790,00	1300,00
% de saturación de oxigeno	87,64	91,84	79,69	82,64
	88,65	92,64	79,92	82,06
	88,04	92,21	79,74	82,11

De acuerdo a la condición

Índice	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
I. DBO_5	0,239	0,239	0,239	0,239
	0,239	0,239	0,239	0,239
	0,239	0,239	0,239	0,239
I. Coliformes totales	0,000	0,000	0,183	0,304
	0,000	0,000	0,183	0,304
	0,000	0,000	0,183	0,304
I. %Oxigeno	0,124	0,082	0,203	0,174
	0,113	0,074	0,201	0,179
	0,120	0,078	0,203	0,179

ICOMO	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	0,121	0,107	0,208	0,239
R2	0,118	0,104	0,208	0,241
R3	0,120	0,106	0,208	0,241

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOMO para el segundo muestreo (M2).

Resultados tercer muestreo M3 (29/11/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	2,59	2,59	2,59	2,59
	2,59	2,59	2,59	2,59
	2,59	2,59	2,59	2,59
Numeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	330,00	1300,00	1400,00	3500,00
	330,00	1300,00	1400,00	3500,00
	330,00	1300,00	1400,00	3500,00
% de saturación de oxigeno	83,52	90,45	85,89	85,24
	83,13	91,34	86,03	85,52
	81,35	90,60	85,04	85,89

De acuerdo a la condición

Índice	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
I. DBO_5	0,239	0,239	0,239	0,239
	0,239	0,239	0,239	0,239
	0,239	0,239	0,239	0,239
I. Coliformes totales	0,000	0,304	0,322	0,545
	0,000	0,304	0,322	0,545
	0,000	0,304	0,322	0,545
I. %Oxigeno	0,165	0,095	0,141	0,148
	0,169	0,087	0,140	0,145
	0,187	0,094	0,150	0,141

ICOMO	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	0,135	0,213	0,234	0,311
R2	0,136	0,210	0,234	0,310
R3	0,142	0,212	0,237	0,308

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOMO para el tercer muestreo (M3).

Resultados cuarto muestreo M4 (27/12/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	2,59	2,59	2,59	2,59
	2,59	2,59	2,59	2,59
	2,59	2,59	2,59	2,59
Numeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	700,00	2400,00	3500,00	5400,00
	700,00	2400,00	3500,00	5400,00
	700,00	2400,00	3500,00	5400,00
% de saturación de oxigeno	88,53	86,07	84,43	87,29
	89,35	86,73	85,01	89,78
	88,73	87,06	85,35	89,14

De acuerdo a la condición

Índice	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
I. DBO_5	0,239	0,239	0,239	0,239
	0,239	0,239	0,239	0,239
	0,239	0,239	0,239	0,239
I. Coliformes totales	0,153	0,453	0,545	0,650
	0,153	0,453	0,545	0,650
	0,153	0,453	0,545	0,650
I. %Oxigeno	0,115	0,139	0,156	0,127
	0,106	0,133	0,150	0,102
	0,113	0,129	0,146	0,109

ICOMO	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	0,169	0,277	0,313	0,339
R2	0,166	0,275	0,311	0,331
R3	0,168	0,274	0,310	0,333

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOMO para el cuarto muestreo (M4).

ICOMO por estación en las 4 fechas de muestreo

Estación de muestreo		M1	M2	M3	M4	$\bar{x}$	Rango	Color	Grado de Contaminación
	R1	0,107	0,121	0,135	0,169				
RHuat-01	R2	0,105	0,118	0,136	0,166	0,133	0,0-0,2		Ninguna
	R3	0,108	0,120	0,142	0,168				
	R1	0,080	0,107	0,213	0,277				
RHuat-02	R2	0,080	0,104	0,210	0,275	0,168	0,0-0,2		Ninguna
	R3	0,080	0,106	0,212	0,274				
	R1	0,127	0,208	0,234	0,313				
RHuat-03	R2	0,128	0,208	0,234	0,311	0,220	0,2-0,4		Baja
	R3	0,126	0,208	0,237	0,310				
	R1	0,207	0,239	0,311	0,339				
RHuat-04	R2	0,206	0,241	0,310	0,331	0,273	0,2-0,4		Baja
	R3	0,206	0,241	0,308	0,333				

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOMO; $\bar{x}$ es la media de la temporada por estación de muestreo.

Rangos Índice de contaminación

Valor de los ICO's	Caracterización	Clasificación de la contaminación	Leyenda
0,8 – 1,0	Áreas muy contaminadas	Contaminación muy alta	
0,6 – 0,8	Incidencia importante de contaminación	Contaminación alta	
0,4 – 0,6	Notable actividad antrópica	Contaminación media	
0,2 – 0,4	Con leve incidencia antrópica	Contaminación baja	
0,0 – 0,2	Aguas puras y quizá con aportes biogénicos	Contaminación ninguna	

Nota. Caracterización, clasificación y leyenda de los índices de contaminación, adaptadas de Ramírez y Viña (1997), según Montero y Ramírez (2018).

Anexo 6 Cálculo del índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

$$\boldsymbol{ICOMI = \frac{1}{3}(I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})} \text{..... } \textbf{\textit{(Ecuación 2)}}$$

Donde:

- Índice de conductividad se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$Log_{10}\, I_{Conductividad} = -3{,}26 + 1{,}34\, Log_{10} \times conductividad\ (\mu S/cm)$$

Condición:

Conductividades > a 270 µS/cm, entonces *I Conductividad* = 1

- Índice de dureza se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$Log_{10}\, I_{Dureza} = -9{,}09 + 4{,}40\, Log_{10} \times dureza\ (mg/L)$$

Condición:

Durezas mayores a 110 mg/L, tienen un índice de dureza $=$ 1

Durezas menores a 30 mg/L, tienen un índice de dureza $=$ 0

- Índice de alcalinidad se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I_{Alcalinidad} = -0{,}25 + 0{,}005 \times\ alcalinidad\ (mg/L)$$

Condición:

Alcalinidades mayores a 250 mg/L, tienen un índice de alcalinidad $=$ 1

Alcalinidades menores a 50 mg/L, tienen un índice de alcalinidad $=$ 0

Nota. Fuente: (Restrepo, Ramírez, & Cardeñosa, 1999)

Resultados primer muestreo M1(01/10/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Conductividad (µS/cm)	175,00	218,50	210,30	398,00
	176,10	216,30	211,70	396,80
	176,70	219,60	210,00	399,00
Dureza total (mg/L)	54,46	52,51	60,29	118,64
	54,46	52,51	59,32	117,67
	55,43	51,54	61,27	118,64
Alquilinidad (mg/L)	110,76	104,37	107,57	170,40
	111,83	106,50	106,50	169,34
	109,70	105,44	106,50	170,40

De acuerdo a la condición

Índice	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
I. Conductividad	0,557	0,750	0,712	1,000
	0,561	0,740	0,719	1,000
	0,564	0,755	0,711	1,000
I. Dureza	0,035	0,030	0,055	1,000
	0,035	0,030	0,052	1,000
	0,038	0,028	0,059	1,000
I. Alcalinidad	0,304	0,272	0,288	0,602
	0,309	0,283	0,283	0,597
	0,298	0,277	0,283	0,602

ICOMI	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	0,299	0,351	0,352	0,867
R2	0,302	0,351	0,351	0,866
R3	0,300	0,353	0,351	0,867

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOMI para el primer muestreo (M1).

Resultados segundo muestreo M2(30/10/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Conductividad (µS/cm)	171,50	196,90	202,70	386,00
	171,20	193,80	201,20	386,50
	172,20	194,60	202,00	388,00
Dureza total (mg/L)	56,40	61,27	58,35	119,61
	55,43	60,29	60,29	118,64
	56,40	60,29	59,32	119,61
Alquilinidad (mg/L)	87,33	80,94	87,33	159,75
	88,40	82,01	87,33	160,82
	87,33	80,94	86,27	159,75

De acuerdo a la condición

Índice	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
I. Conductividad	0,542	0,652	0,678	1,000
	0,541	0,638	0,671	1,000
	0,545	0,642	0,675	1,000
I. Dureza	0,041	0,059	0,048	1,000
	0,038	0,055	0,055	1,000
	0,041	0,055	0,052	1,000
I. Alcalinidad	0,187	0,155	0,187	0,549
	0,192	0,160	0,187	0,554
	0,187	0,155	0,181	0,549

ICOMI	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	0,257	0,289	0,304	0,850
R2	0,257	0,285	0,304	0,851
R3	0,258	0,284	0,303	0,850

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOMI para el segundo muestreo (M2).

Resultados tercer muestreo M3 (29/11/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Conductividad (µS/cm)	126,70	160,70	135,10	186,10
	126,15	161,00	135,80	187,20
	125,80	160,90	136,00	186,90
Dureza total(mg/L)	44,73	43,76	38,90	93,36
	44,73	42,79	39,87	92,39
	45,71	42,79	40,84	91,41
Alquilinidad(mg/L)	59,64	57,51	62,84	91,59
	61,77	57,51	63,90	93,72
	61,77	58,58	64,97	93,72

De acuerdo a la condición

Índice	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
I. Conductividad	0,361	0,497	0,394	0,605
	0,359	0,498	0,396	0,609
	0,358	0,497	0,397	0,608
I. Dureza	0,015	0,014	0,008	0,379
	0,015	0,012	0,009	0,362
	0,016	0,012	0,010	0,345
I. Alcalinidad	0,048	0,038	0,064	0,208
	0,059	0,038	0,070	0,219
	0,059	0,043	0,075	0,219

ICOMI	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	0,141	0,183	0,155	0,397
R2	0,144	0,183	0,158	0,397
R3	0,144	0,184	0,161	0,391

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOMI para el tercer muestreo (M3).

Resultados cuarto muestreo M4 (27/12/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Conductividad (µS/cm)	80,90	86,00	93,10	139,90
	81,30	86,40	93,10	140,10
	81,10	86,20	92,90	140,20
Dureza Total (mg/L)	48,62	58,35	75,85	83,63
	46,68	60,29	73,91	85,58
	48,62	60,29	75,85	83,63
Alquilinidad (mg/L)	82,01	91,59	87,33	121,41
	80,94	92,66	87,33	123,54
	80,94	93,72	86,26	123,54

De acuerdo a la condición

Índice	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
I. Conductividad	0,198	0,215	0,239	0,412
	0,199	0,216	0,239	0,413
	0,199	0,216	0,238	0,414
I. Dureza	0,021	0,048	0,152	0,234
	0,018	0,055	0,136	0,258
	0,021	0,055	0,152	0,234
I. Alcalinidad	0,160	0,208	0,187	0,357
	0,155	0,213	0,187	0,368
	0,155	0,219	0,181	0,368

ICOMI	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	0,127	0,157	0,193	0,334
R2	0,124	0,162	0,187	0,346
R3	0,125	0,163	0,191	0,338

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOMI para el cuarto muestreo (M4).

ICOMI por estación en las 4 fechas de muestreo

Estación de muestreo		M1	M2	M3	M4	$\bar{x}$	Rango	Color	Grado de Contaminación
RHuat-01	R1	0,299	0,257	0,141	0,127	0,206	0,2-0,4		Baja
	R2	0,302	0,257	0,144	0,124				
	R3	0,300	0,258	0,144	0,125				
RHuat-02	R1	0,351	0,289	0,183	0,157	0,245	0,2-0,4		Baja
	R2	0,351	0,285	0,183	0,162				
	R3	0,353	0,284	0,184	0,163				
RHuat-03	R1	0,352	0,304	0,155	0,193	0,251	0,2-0,4		Baja
	R2	0,351	0,304	0,158	0,187				
	R3	0,351	0,303	0,161	0,191				
RHuat-04	R1	0,867	0,850	0,397	0,334	0,613	0,6-0,8		Alta
	R2	0,866	0,851	0,397	0,346				
	R3	0,867	0,850	0,391	0,338				

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOMI; $\bar{x}$ es la media de la temporada por estación de muestreo.

Rangos Índice de contaminación

Valor de los ICO's	Caracterización	Clasificación de la contaminación	Leyenda
0,8 – 1,0	Áreas muy contaminadas	Contaminación muy alta	
0,6 – 0,8	Incidencia importante de contaminación	Contaminación alta	
0,4 – 0,6	Notable actividad antrópica	Contaminación media	
0,2 – 0,4	Con leve incidencia antrópica	Contaminación baja	
0,0 – 0,2	Aguas puras y quizá con aportes biogénicos	Contaminación ninguna	

Nota. Caracterización, clasificación y leyenda de los índices de contaminación, adaptadas de Ramírez y Viña (1997), según Montero y Ramírez (2018).

Anexo 7 Cálculo del índice de contaminación por solidos suspendidos (ICOSUS)

$$\boldsymbol{ICOSUS = -0,02 + 0,003\ sólidos\ suspendidos\ (mg/L)} \text{..... } \textbf{(Ecuación 3)}$$

Donde:

SST= Resultado del parámetro solidos suspendidos.

Condición:

Sólidos suspendidos menores a 340 mg/L , utilizamos la ecuación (3)

Sólidos suspendidos mayores a 340 mg/L , tienen $ICOSUS = 1$

Sólidos suspendidos menores a 10 mg/L , tienen $ICOSUS = 0$

Nota. Fuente: (Restrepo, Ramírez, & Cardeñosa, 1999).

Resultados primer muestreo M1 (01/10/2024)

Parámetros	**Estación de muestreo**			
	RHuat-01	**RHuat-02**	**RHuat-03**	**RHuat-04**
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	5,50	11,20	16,60	19,60
	7,00	10,60	16,90	21,90
	5,70	10,50	15,90	19,10
De acuerdo a la condición				
ICOSUS	**Estación de muestreo**			
	RHuat-01	**RHuat-02**	**RHuat-03**	**RHuat-04**
R1	0,000	0,014	0,030	0,039
R2	0,001	0,012	0,031	0,046
R3	0,000	0,011	0,028	0,037

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOSUS para el primer muestreo (M1).

Resultados segundo muestreo M2 (30/10/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	8,00	15,50	18,60	34,10
	8,30	16,40	20,60	33,00
	9,00	14,90	17,80	35,20

De acuerdo a la condición

ICOSUS	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	0,004	0,026	0,036	0,082
R2	0,005	0,029	0,042	0,079
R3	0,007	0,025	0,033	0,086

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOSUS para el segundo muestreo (M2).

Resultados tercer muestreo M3 (29/11/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	23,60	46,20	86,00	72,70
	23,40	46,80	85,00	74,20
	23,10	47,90	84,30	73,00

De acuerdo a la condición

ICOSUS	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	0,051	0,119	0,238	0,198
R2	0,050	0,120	0,235	0,203
R3	0,049	0,124	0,233	0,199

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOSUS para el tercer muestreo (M3).

Resultados cuarto muestreo M4 (27/12/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	28,60	97,20	111,50	113,40
	27,10	95,10	110,60	113,30
	28,30	95,00	112,80	115,40

De acuerdo a la condición

ICOSUS	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	0,066	0,272	0,315	0,320
R2	0,061	0,265	0,312	0,320
R3	0,065	0,265	0,318	0,326

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOSUS para el cuarto muestreo (M4).

ICOSUS por estación en las 4 fechas de muestreo

Estación de muestreo		M1	M2	M3	M4	$\bar{x}$	Rango	Color	Grado de Contaminación
RHuat-01	R1	0,000	0,004	0,051	0,066	0,030	0,0-0,2		Ninguna
	R2	0,001	0,005	0,050	0,061				
	R3	0,000	0,007	0,049	0,065				
RHuat-02	R1	0,014	0,026	0,119	0,272	0,107	0,0-0,2		Ninguna
	R2	0,012	0,029	0,120	0,265				
	R3	0,011	0,025	0,124	0,265				
RHuat-03	R1	0,030	0,036	0,238	0,315	0,154	0,0-0,2		Ninguna
	R2	0,031	0,042	0,235	0,312				
	R3	0,028	0,033	0,233	0,318				
RHuat-04	R1	0,039	0,082	0,198	0,320	0,161	0,0-0,2		Ninguna
	R2	0,046	0,079	0,203	0,320				
	R3	0,037	0,086	0,199	0,326				

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOSUS; $\bar{x}$ es la media de la temporada por estación de muestreo.

Rangos Índice de contaminación

Valor de los ICO's	Caracterización	Clasificación de la contaminación	Leyenda
0,8 – 1,0	Áreas muy contaminadas	Contaminación muy alta	
0,6 – 0,8	Incidencia importante de contaminación	Contaminación alta	
0,4 – 0,6	Notable actividad antrópica	Contaminación media	
0,2 – 0,4	Con leve incidencia antrópica	Contaminación baja	
0,0 – 0,2	Aguas puras y quizá con aportes biogénicos	Contaminación ninguna	

Nota. Caracterización, clasificación y leyenda de los índices de contaminación, adaptadas de Ramírez y Viña (1997), según Montero y Ramírez (2018).

Anexo 8 Cálculo del índice de contaminación trófica (ICOTRO)

Categoría de contaminación trófica

Categoría	Concentración de fosforo total
Oligotrófico	$< 0{,}01\ (mg/L)$
Mesotrófico	$0{,}01 - 0{,}02\ (m\,g/L)$
Eutrófico	$0{,}02 - 1\ (mg/L)$
Hipereutrófico	$> 1\ (mg/L)$

Nota. Fuente: Ramírez, A. y Restrepo, R., Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. Ciencia Tecnología y Futuro. Vol.1 N°3 Bucaramanga.

Resultados primer muestreo M1 (01/10/2024)

Parámetros	**Estación de muestreo**			
	RHuat-01	**RHuat-02**	**RHuat-03**	**RHuat-04**
Fósforo total (mg/L)	0,010	0,040	0,057	0,033
	0,010	0,040	0,053	0,033
	0,010	0,040	0,049	0,033

De acuerdo a la condición

ICOTRO	**Estación de muestreo**			
	RHuat-01	**RHuat-02**	**RHuat-03**	**RHuat-04**
R1	OLIGOTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
R2	OLIGOTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
R3	OLIGOTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOTRO para el primer muestreo (M1).

Resultados segundo muestreo M2 (30/10/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Fósforo total (mg/L)	0,068	0,044	0,056	0,060
	0,063	0,044	0,052	0,056
	0,058	0,044	0,048	0,052

De acuerdo a la condición

ICOTRO	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
R2	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
R3	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOTRO para el segundo muestreo (M2).

Resultados tercer muestreo M3 (29/11/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Fósforo total (mg/L)	0,073	0,097	0,101	0,094
	0,073	0,097	0,101	0,094
	0,073	0,097	0,101	0,094

De acuerdo a la condición

ICOTRO	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
R2	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
R3	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOTRO para el tercer muestreo (M3).

Resultados cuarto muestreo M4 (27/12/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Fósforo total (mg/L)	0,028	0,026	0,028	0,032
	0,028	0,026	0,028	0,032
	0,028	0,026	0,028	0,032

De acuerdo a la condición

ICOTRO	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
R2	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
R3	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOTRO para el cuarto muestreo (M4).

ICOTRO por estación en las 4 fechas de muestreo

Código de Muestra		M1	M2	M3	M4
RHuat-01	R1	0,010	0,068	0,073	0,028
	R2	0,010	0,063	0,073	0,028
	R3	0,010	0,058	0,073	0,028
RHuat-02	R1	0,040	0,044	0,097	0,026
	R2	0,040	0,044	0,097	0,026
	R3	0,040	0,044	0,097	0,026
RHuat-03	R1	0,057	0,056	0,101	0,028
	R2	0,053	0,052	0,101	0,028
	R3	0,049	0,048	0,101	0,028
RHuat-04	R1	0,033	0,060	0,060	0,032
	R2	0,033	0,056	0,056	0,032
	R3	0,033	0,052	0,052	0,032

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOTRO; $\bar{x}$ es la media de la temporada por estación de muestreo.

ICOTRO por estación en las 4 fechas de muestreo

Código de Muestra		M1	M2	M3	M4
RHuat-01	R1	OLIGOTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
	R2	OLIGOTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
	R3	OLIGOTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
RHuat-02	R1	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
	R2	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
	R3	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
RHuat-03	R1	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
	R2	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
	R3	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
RHuat-04	R1	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
	R2	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO
	R3	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO	EUTRÓFICO

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOTRO; $\bar{x}$ es la media de la temporada por estación de muestreo.

Rangos Índice de contaminación

Valor de los ICO's	Caracterización	Clasificación de la contaminación	Leyenda
0,8 – 1,0	Áreas muy contaminadas	Contaminación muy alta	
0,6 – 0,8	Incidencia importante de contaminación	Contaminación alta	
0,4 – 0,6	Notable actividad antrópica	Contaminación media	
0,2 – 0,4	Con leve incidencia antrópica	Contaminación baja	
0,0 – 0,2	Aguas puras y quizá con aportes biogénicos	Contaminación ninguna	

Nota. Caracterización, clasificación y leyenda de los índices de contaminación, adaptadas de Ramírez y Viña (1997), según Montero y Ramírez (2018).

Anexo 9 Cálculo del índice de contaminación por pH (ICOpH)

$$ICOpH = \frac{e^{-31,08+3,45pH}}{1+e^{-31,08+3,45pH}}) \text{..... (Ecuación 4)}$$

Condición:

pH < a 7, entonces el pH = 14 – pH registrado

pH > a 7, entonces se toma el valor registrado y se calcula el índice ICOpH.

Nota. Fuente: (Restrepo, Ramírez, & Cardeñosa, 1999)

Resultados primer muestreo M1 (01/10/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Potencial hidrógeno (pH)	8,81	9,10	8,85	9,07
	8,83	9,20	8,91	9,15
	8,80	9,10	8,77	9,17
De acuerdo a la condición				
ICOpH	**Estación de muestreo**			
	RHuat-01	**RHuat-02**	**RHuat-03**	**RHuat-04**
R1	0,335	0,578	0,366	0,553
R2	0,351	0,659	0,416	0,620
R3	0,327	0,578	0,305	0,636

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOpH para el primer muestreo (M1).

Resultados segundo muestreo M2 (30/10/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Potencial hidrógeno (pH)	9,20	9,22	8,87	8,78
	9,14	9,35	8,86	8,86
	9,10	9,36	8,73	8,86
De acuerdo a la condición				
ICOpH	**Estación de muestreo**			
	RHuat-01	**RHuat-02**	**RHuat-03**	**RHuat-04**
R1	0,659	0,675	0,383	0,312
R2	0,611	0,764	0,374	0,374
R3	0,578	0,771	0,277	0,374

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOpH para el segundo muestreo (M2).

Resultados tercer muestreo M3 (29/11/2024)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Potencial hidrógeno (pH)	8,37	8,77	8,75	8,54
	8,30	8,52	8,68	8,56
	8,14	8,60	8,86	8,60

De acuerdo a la condición

ICOpH	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	0,099	0,305	0,291	0,166
R2	0,080	0,156	0,243	0,175
R3	0,048	0,196	0,374	0,196

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOpH para el tercer muestreo (M3).

Resultados cuarto muestreo M4 (27/12/2024)

PARÁMETROS	ESTACIONES DE MONITOREO			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Potencial hidrógeno (pH)	8,11	8,80	8,71	9,03
	8,10	8,81	8,82	9,04
	8,19	8,80	8,90	9,05

De acuerdo a la condición

ICOpH	ESTACIÓN			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
R1	0,043	0,327	0,263	0,518
R2	0,042	0,335	0,343	0,527
R3	0,056	0,327	0,407	0,536

Nota: R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOpH para el cuarto muestreo (M4).

ICOpH por estación en las 4 fechas de muestreo

Estación de muestreo		M1	M2	M3	M4	X	Rango	Color	Grado de Contaminación
	R1	0,335	0,659	0,099	0,043				
RHuat-01	R2	0,351	0,611	0,080	0,042	0,269	0,2-0,4		Baja
	R3	0,327	0,578	0,048	0,056				
	R1	0,578	0,675	0,305	0,327				
RHuat-02	R2	0,659	0,764	0,156	0,335	0,473	0,4-0,6		Media
	R3	0,578	0,771	0,196	0,327				
	R1	0,366	0,383	0,291	0,263				
RHuat-03	R2	0,416	0,374	0,243	0,343	0,337	0,2-0,4		Baja
	R3	0,305	0,277	0,374	0,407				
	R1	0,553	0,312	0,166	0,518				
RHuat-04	R2	0,620	0,374	0,175	0,527	0,416	0,4-0,6		Media
	R3	0,636	0,374	0,196	0,536				

Nota: M1, M2, M3 y M4 son las fechas de muestreo en ese orden; R1, R2 y R3 son los resultados de las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente del ICOpH; $\bar{x}$ es la media de la temporada.

Rangos Índice de contaminación

Valor de los ICO's	Caracterización	Clasificación de la contaminación	Leyenda
0,8 – 1,0	Áreas muy contaminadas	Contaminación muy alta	
0,6 – 0,8	Incidencia importante de contaminación	Contaminación alta	
0,4 – 0,6	Notable actividad antrópica	Contaminación media	
0,2 – 0,4	Con leve incidencia antrópica	Contaminación baja	
0,0 – 0,2	Aguas puras y quizá con aportes biogénicos	Contaminación ninguna	

Nota. Caracterización, clasificación y leyenda de los índices de contaminación, adaptadas de Ramírez y Viña (1997), según Montero y Ramírez (2018).

Anexo 10 ANOVA y análisis LSD para coliformes totales

Análisis de varianza para coliformes totales (NMP/100 ml) - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Estación de muestreo	39828800	3	13276300	35,12	0,0000
B: Fecha de muestreo	48074200	3	16024700	42,39	0,0000
RESIDUOS	15499300	41	378033,00		
TOTAL (CORREGIDO)	103402300	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Pruebas de múltiples rangos para coliformes totales (NMP/100 ml) por estación de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Estación de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
1	12	298,25	177,49	X
2	12	1135,0	177,49	X
3	12	1505,0	177,49	X
4	12	2825,0	177,49	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2	*	-836,75	506,924
1 - 3	*	-1206,75	506,924
1 - 4	*	-2526,75	506,924
2 - 3		-370,0	506,924
2 - 4	*	-1690,0	506,924
3 - 4	*	-1320,0	506,924

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de múltiples rangos para coliformes totales (NMP/100 ml) por fecha de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Fecha de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
1	12	512,5	177,49	X
2	12	618,25	177,49	X
3	12	1632,5	177,49	X
4	12	3000,0	177,49	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		-105,75	506,924
1 - 3	*	-1120,0	506,924
1 - 4	*	-2487,5	506,924
2 - 3	*	-1014,25	506,924
2 - 4	*	-2381,75	506,924
3 - 4	*	-1367,5	506,924

* indica una diferencia significativa.

Anexo 11 ANOVA y análisis LSD para coliformes termotolerantes

Análisis de varianza para coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) - Suma de cuadrados Tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Estación de muestreo	2635860	3	878620,0	26,87	0,0000
B: Fecha de muestreo	1449030	3	483010,0	14,77	0,0000
RESIDUOS	1340450	41	32694,0		
TOTAL (CORREGIDO)	5425340	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Pruebas de múltiples rangos para coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) por estación de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Estación de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
1	12	43,825	52,1968	X
2	12	107,25	52,1968	X
3	12	165,5	52,1968	X
4	12	637,5	52,1968	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		-63,425	149,077
1 - 3		-121,675	149,077
1 - 4	*	-593,675	149,077
2 - 3		-58,25	149,077
2 - 4	*	-530,25	149,077
3 - 4	*	-472,0	149,077

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de múltiples rangos para coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) por fecha de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Fecha de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
2	12	73,45	52,1968	X
1	12	86,625	52,1968	X
4	12	296,5	52,1968	X
3	12	497,5	52,1968	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		13,175	149,077
1 - 3	*	-410,875	149,077
1 - 4	*	-209,875	149,077
2 - 3	*	-424,05	149,077
2 - 4	*	-223,05	149,077
3 - 4	*	201,0	149,077

* indica una diferencia significativa.

Anexo 12 ANOVA y análisis LSD para demanda bioquímica de oxígeno

Los datos son iguales en las diferentes estaciones y fechas de muestreo.

Anexo 13 ANOVA y análisis LSD para oxígeno disuelto

Análisis de varianza para oxígeno disuelto (mg/L) - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Estación de muestreo	3,90295	3	1,30098	88,54	0,0000
B: Fecha de muestreo	2,22642	3	0,742139	50,51	0,0000
RESIDUOS	0,602433	41	0,0146935		
TOTAL (CORREGIDO)	6,7318	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de múltiples rangos para oxígeno disuelto (mg/L) por estación de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Estación de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
4	12	6,01167	0,0349923	X
3	12	6,14917	0,0349923	X
1	12	6,4475	0,0349923	X
2	12	6,75167	0,0349923	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2	*	-0,304167	0,0999403
1 - 3	*	0,298333	0,0999403
1 - 4	*	0,435833	0,0999403
2 - 3	*	0,6025	0,0999403
2 - 4	*	0,74	0,0999403
3 - 4	*	0,1375	0,0999403

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de múltiples rangos para oxígeno disuelto (mg/L) por fecha de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Fechas de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
2	12	5,97417	0,0349923	X
4	12	6,39333	0,0349923	X
1	12	6,4925	0,0349923	XX
3	12	6,5	0,0349923	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2	*	0,518333	0,0999403
1 - 3		-0,0075	0,0999403
1 - 4		0,0991667	0,0999403
2 - 3	*	-0,525833	0,0999403
2 - 4	*	-0,419167	0,0999403
3 - 4	*	0,106667	0,0999403

* indica una diferencia significativa.

Anexo 14 ANOVA y análisis LSD para % de saturación de oxigeno

Análisis de varianza para % de saturación de oxígeno - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Estación de muestreo	799,377	3	266,459	12,68	0,0000
B: Fechas de muestreo	494,961	3	164,987	7,85	0,0003
RESIDUOS	861,28	41	21,0068		
TOTAL (CORREGIDO)	2155,62	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de múltiples rangos para % de saturación de oxígeno por estación de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Estación de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
3	12	99,8583	1,32309	X
4	12	101,7	1,32309	X
1	12	107,825	1,32309	X
2	12	109,642	1,32309	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		-1,81667	3,77884
1 - 3	*	7,96667	3,77884
1 - 4	*	6,125	3,77884
2 - 3	*	9,78333	3,77884
2 - 4	*	7,94167	3,77884
3 - 4		-1,84167	3,77884

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de múltiples rangos para % de saturación de oxígeno por fecha de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Fechas de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
4	12	102,125	1,32309	X
3	12	103,175	1,32309	X
2	12	103,475	1,32309	X
1	12	110,25	1,32309	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2	*	6,775	3,77884
1 - 3	*	7,075	3,77884
1 - 4	*	8,125	3,77884
2 - 3		0,30	3,77884
2 - 4		1,35	3,77884
3 - 4		1,05	3,77884

* indica una diferencia significativa.

Anexo 15 ANOVA y análisis LSD para alcalinidad

Análisis de varianza para alcalinidad (mg/L) - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Estación de muestreo	23675,8	3	7891,93	99,34	0,0000
B: Fecha de muestreo	18271,5	3	6090,51	76,66	0,0000
RESIDUOS	3257,21	41	79,4441		
TOTAL (CORREGIDO)	45204,5	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de múltiples rangos para alcalinidad (mg/L) por estación de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Estación de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
2	12	84,3142	2,573	X
1	12	85,2017	2,573	X
3	12	86,1775	2,573	X
4	12	136,498	2,573	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		0,8875	7,34867
1 - 3		-0,975833	7,34867
1 - 4	*	-51,2967	7,34867
2 - 3		-1,86333	7,34867
2 - 4	*	-52,1842	7,34867
3 - 4	*	-50,3208	7,34867

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de múltiples rangos para alcalinidad (mg/L) por fecha de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Fecha de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
3	12	68,96	2,573	X
4	12	95,9392	2,573	X
2	12	104,017	2,573	X
1	12	123,276	2,573	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2	*	19,2592	7,34867
1 - 3	*	54,3158	7,34867
1 - 4	*	27,3367	7,34867
2 - 3	*	35,0567	7,34867
2 - 4	*	8,0775	7,34867
3 - 4	*	-26,9792	7,34867

* indica una diferencia significativa.

Anexo 16 ANOVA y análisis LSD para dureza total

Análisis de varianza para dureza total (mg/L) - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Estación de muestreo	22021,1	3	7340,38	95,34	0,0000
B: Fecha de muestreo	2486,36	3	828,788	10,76	0,0000
RESIDUOS	3156,66	41	76,9918		
TOTAL (CORREGIDO)	27664,2	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Pruebas de múltiples rangos para dureza total (mg/L) por estación de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Estación de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
1	12	50,9725	2,53298	X
2	12	53,89	2,53298	XX
3	12	58,6717	2,53298	X
4	12	103,568	2,53298	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		-2,9175	7,23436
1 - 3	*	-7,69917	7,23436
1 - 4	*	-52,595	7,23436
2 - 3		-4,78167	7,23436
2 - 4	*	-49,6775	7,23436
3 - 4	*	-44,8958	7,23436

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de múltiples rangos para dureza total (mg/L) por fecha de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Fecha de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
3	12	55,1067	2,53298	X
4	12	66,775	2,53298	X
1	12	71,395	2,53298	X
2	12	73,825	2,53298	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		-2,43	7,23436
1 - 3	*	16,2883	7,23436
1 - 4		4,62	7,23436
2 - 3	*	18,7183	7,23436
2 - 4		7,05	7,23436
3 - 4	*	-11,6683	7,23436

* indica una diferencia significativa.

Anexo 17 ANOVA y análisis LSD para potencial de hidrógeno

Análisis de varianza para potencial de hidrógeno (Ph) - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Estación de muestreo	0,960692	3	0,320231	7,42	0.0004
B: Fecha de muestreo	1,83227	3	0,610758	14,16	0.0000
RESIDUOS	1,76883	41	0,0431421		
TOTAL (CORREGIDO)	4,56179	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Pruebas de múltiples rangos para potencial de hidrógeno (Ph) por estación de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Estación de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
1	12	8,59083	0,0599598	X
3	12	8,80917	0,0599598	X
4	12	8,8925	0,0599598	X
2	12	8,96917	0,0599598	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2	*	-0,378333	0,171249
1 - 3	*	-0,218333	0,171249
1 - 4	*	-0,301667	0,171249
2 - 3		0,16	0,171249
2 - 4		0,0766667	0,171249
3 - 4		-0,0833333	0,171249

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de múltiples rangos para potencial de hidrógeno (Ph) por fecha de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Fecha de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
3	12	8,5575	0,0599598	X
4	12	8,69667	0,0599598	X
1	12	8,98	0,0599598	X
2	12	9,0275	0,0599598	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		-0,0475	0,171249
1 - 3	*	0,4225	0,171249
1 - 4	*	0,283333	0,171249
2 - 3	*	0,47	0,171249
2 - 4	*	0,330833	0,171249
3 - 4		-0,139167	0,171249

* indica una diferencia significativa.

Anexo 18 ANOVA y análisis LSD para fósforo total

Análisis de varianza para fósforo total (mg/L) - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Estación de muestreo	0,00151667	3	0,000505556	4,69	0,0066
B: Fecha de muestreo	0,0273333	3	0,00911111	84,58	0,0000
RESIDUOS	0,00441667	41	0,000107724		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0332667	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Pruebas de múltiples rangos para fósforo total (mg/L) por estación de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Estación de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
1	12	0,0433333	0,00299616	X
4	12	0,0516667	0,00299616	XX
2	12	0,0525	0,00299616	X
3	12	0,0591667	0,00299616	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2	*	-0,00916667	0,00855723
1 - 3	*	-0,0158333	0,00855723
1 - 4		-0,00833333	0,00855723
2 - 3		-0,00666667	0,00855723
2 - 4		0,000833333	0,00855723
3 - 4		0,0075	0,00855723

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de múltiples rangos para fósforo total (mg/L) por fecha de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Fecha de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
4	12	0,03	0,00299616	X
1	12	0,0333333	0,00299616	X
2	12	0,0533333	0,00299616	X
3	12	0,09	0,00299616	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2	*	-0,02	0,00855723
1 - 3	*	-0,0566667	0,00855723
1 - 4		0,00333333	0,00855723
2 - 3	*	-0,0366667	0,00855723
2 - 4	*	0,0233333	0,00855723
3 - 4	*	0,06	0,00855723

* indica una diferencia significativa.

Anexo 19 ANOVA y análisis LSD para conductividad

Análisis de varianza para conductividad (µs/cm) - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Estación de muestreo	141306,0	3	47101,9	37,99	0,0000
B: Fecha de muestreo	185853,0	3	61950,9	49,96	0,0000
RESIDUOS	50839,8	41	1240,0		
TOTAL (CORREGIDO)	377998,0	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Pruebas de múltiples rangos para conductividad (µS/cm) por estación de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Estación de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
1	12	138,721	10,1653	X
3	12	160,325	10,1653	X
2	12	165,075	10,1653	X
4	12	277,892	10,1653	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		-26,3542	29,0327
1 - 3		-21,6042	29,0327
1 - 4	*	-139,171	29,0327
2 - 3		4,75	29,0327
2 - 4	*	-112,817	29,0327
3 - 4	*	-117,567	29,0327

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de múltiples rangos para conductividad (µS/cm) por fecha de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Fecha de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
4	12	100,1	10,1653	X
3	12	152,363	10,1653	X
2	12	238,883	10,1653	X
1	12	250,667	10,1653	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		11,7833	29,0327
1 - 3	*	98,3042	29,0327
1 - 4	*	150,567	29,0327
2 - 3	*	86,5208	29,0327
2 - 4	*	138,783	29,0327
3 - 4	*	52,2625	29,0327

* indica una diferencia significativa.

Anexo 20 ANOVA y análisis LSD para sólidos suspendidos totales

Análisis de varianza para sólidos suspendidos totales (mg/L) - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Estación de muestreo	14728,0	3	4909,34	24,40	0,0000
B: Fecha de muestreo	43226,3	3	14408,8	71,62	0,0000
RESIDUOS	8248,45	41	201,182		
TOTAL (CORREGIDO)	66202,8	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Pruebas de múltiples rangos para sólidos suspendidos totales (mg/L) por estación de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Estación de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
1	12	16,4667	4,09453	X
2	12	42,275	4,09453	X
3	12	58,05	4,09453	X
4	12	60,4083	4,09453	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2	*	-25,8083	11,6942
1 - 3	*	-41,5833	11,6942
1 - 4	*	-43,9417	11,6942
2 - 3	*	-15,775	11,6942
2 - 4	*	-18,1333	11,6942
3 - 4		-2,35833	11,6942

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de múltiples rangos para sólidos suspendidos totales (mg/L) por fechas de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Fechas de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
1	12	13,375	4,09453	X
2	12	19,2833	4,09453	X
3	12	57,1833	4,09453	X
4	12	87,3583	4,09453	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		-5,90833	11,6942
1 - 3	*	-43,8083	11,6942
1 - 4	*	-73,9833	11,6942
2 - 3	*	-37,9	11,6942
2 - 4	*	-68,075	11,6942
3 - 4	*	-30,175	11,6942

* indica una diferencia significativa.

Anexo 21 ANOVA y análisis LSD para ICOMO

Análisis de varianza para ICOMO - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Estación de muestreo	0,140006	3	0,0466688	57,43	0,0000
B: Fecha de muestreo	0,102056	3	0,0340187	41,86	0,0000
RESIDUOS	0,0333188	41	0,000812652		
TOTAL (CORREGIDO)	0,275381	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Pruebas de múltiples rangos para ICOMO por estación de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Estación de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
1	12	0,0925	0,00822928	X
2	12	0,1225	0,00822928	X
3	12	0,1725	0,00822928	X
4	12	0,235	0,00822928	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2	*	-0,03	0,0235034
1 - 3	*	-0,08	0,0235034
1 - 4	*	-0,1425	0,0235034
2 - 3	*	-0,05	0,0235034
2 - 4	*	-0,1125	0,0235034
3 - 4	*	-0,0625	0,0235034

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de múltiples rangos para ICOMO por fecha de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Fecha de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
1	12	0,1075	0,00822928	X
2	12	0,13	0,00822928	X
3	12	0,155	0,00822928	X
4	12	0,23	0,00822928	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		-0,0225	0,0235034
1 - 3	*	-0,0475	0,0235034
1 - 4	*	-0,1225	0,0235034
2 - 3	*	-0,025	0,0235034
2 - 4	*	-0,1	0,0235034
3 - 4	*	-0,075	0,0235034

* indica una diferencia significativa.

Anexo 22 ANOVA y análisis LSD para ICOMI

Análisis de varianza para ICOMI - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Estación de muestreo	0,555523	3	0,185174	19,70	0,0000
B: Fechas de muestreo	1,07677	3	0,358924	38,19	0,0000
RESIDUOS	0,385302	41	0,00939761		
TOTAL (CORREGIDO)	2,0176	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Pruebas de múltiples rangos para ICOMI por estación de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Estación de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
1	12	0,130833	0,0279845	X
2	12	0,155833	0,0279845	X
3	12	0,1625	0,0279845	X
4	12	0,396667	0,0279845	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		-0,025	0,0799257
1 - 3		-0,0316667	0,0799257
1 - 4	*	-0,265833	0,0799257
2 - 3		-0,00666667	0,0799257
2 - 4	*	-0,240833	0,0799257
3 - 4	*	-0,234167	0,0799257

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de múltiples rangos para ICOMI por fecha de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Fecha de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
4	12	0	0,0279845	X
3	12	0,203333	0,0279845	X
2	12	0,219167	0,0279845	X
1	12	0,423333	0,0279845	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2	*	0,204167	0,0799257
1 - 3	*	0,22	0,0799257
1 - 4	*	0,423333	0,0799257
2 - 3		0,0158333	0,0799257
2 - 4	*	0,219167	0,0799257
3 - 4	*	0,203333	0,0799257

* indica una diferencia significativa.

Anexo 23 ANOVA y análisis LSD para ICOSUS

Análisis de varianza para ICOSUS - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*GI*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Estación de muestreo	0,134692	3	0,0448972	24,56	0,0000
B: Fecha de muestreo	0,386942	3	0,128981	70,55	0,0000
RESIDUOS	0,0749583	41	0,00182825		
TOTAL (CORREGIDO)	0,596592	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Pruebas de múltiples rangos para ICOSUS por estación de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Estación de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
1	12	0,0291667	0,0123432	X
2	12	0,105833	0,0123432	X
3	12	0,154167	0,0123432	X
4	12	0,1625	0,0123432	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2	*	-0,0766667	0,035253
1 - 3	*	-0,125	0,035253
1 - 4	*	-0,133333	0,035253
2 - 3	*	-0,0483333	0,035253
2 - 4	*	-0,0566667	0,035253
3 - 4		-0,00833333	0,035253

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para ICOSUS por Fecha de muestreo

Método: 95.0 porcentaje LSD

Fecha de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
1	12	0,0208333	0,0123432	X
2	12	0,0375	0,0123432	X
3	12	0,151667	0,0123432	X
4	12	0,241667	0,0123432	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		-0,0166667	0,035253
1 - 3	*	-0,130833	0,035253
1 - 4	*	-0,220833	0,035253
2 - 3	*	-0,114167	0,035253
2 - 4	*	-0,204167	0,035253
3 - 4	*	-0,09	0,035253

* indica una diferencia significativa.

Anexo 24 ANOVA y análisis LSD para ICOTRO

Análisis de varianza para ICOTRO - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Estación de muestreo	0,00214167	3	0,000713889	4,60	0,0072
B: Fecha de muestreo	0,0202917	3	0,00676389	43,62	0,0000
RESIDUOS	0,00635833	41	0,000155081		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0287917	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Pruebas de múltiples rangos para ICOTRO por estación de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Estación de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
4	12	0,0433333	0,00359492	X
1	12	0,0433333	0,00359492	X
2	12	0,0525	0,00359492	XX
3	12	0,0591667	0,00359492	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		-0,00916667	0,0102673
1 - 3	*	-0,0158333	0,0102673
1 - 4		0	0,0102673
2 - 3		-0,00666667	0,0102673
2 - 4		0,00916667	0,0102673
3 - 4	*	0,0158333	0,0102673

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de múltiples rangos para ICOTRO por fecha de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Fecha de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
4	12	0,03	0,00359492	X
1	12	0,0333333	0,00359492	X
2	12	0,0533333	0,00359492	X
3	12	0,0816667	0,00359492	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2	*	-0,02	0,0102673
1 - 3	*	-0,0483333	0,0102673
1 - 4		0,00333333	0,0102673
2 - 3	*	-0,0283333	0,0102673
2 - 4	*	0,0233333	0,0102673
3 - 4	*	0,0516667	0,0102673

* indica una diferencia significativa.

Anexo 25 ANOVA y análisis LSD para ICOpH

Análisis de varianza para ICOPH - Suma de cuadrados tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Estación de muestreo	0,288756	3	0,0962521	5,28	0,0036
B: Fecha de muestreo	0,78494	3	0,261647	14,34	0,0000
RESIDUOS	0,748085	41	0,018246		
TOTAL (CORREGIDO)	1,82178	47			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Pruebas de múltiples rangos para ICOPH por estación de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Estación de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
1	12	0,27	0,0389936	X
3	12	0,336667	0,0389936	XX
4	12	0,416667	0,0389936	XX
2	12	0,474167	0,0389936	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2	*	-0,204167	0,111368
1 - 3		-0,0666667	0,111368
1 - 4	*	-0,146667	0,111368
2 - 3	*	0,1375	0,111368
2 - 4		0,0575	0,111368
3 - 4		-0,08	0,111368

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de múltiples rangos para ICOPH por fecha de muestreo

Método: 95,0 porcentaje LSD

Fecha de muestreo	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
3	12	0,195833	0,0389936	X
4	12	0,311667	0,0389936	X
1	12	0,479167	0,0389936	X
2	12	0,510833	0,0389936	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
1 - 2		-0,0316667	0,111368
1 - 3	*	0,283333	0,111368
1 - 4	*	0,1675	0,111368
2 - 3	*	0,315	0,111368
2 - 4	*	0,199167	0,111368
3 - 4	*	-0,115833	0,111368

* indica una diferencia significativa.

Anexo 26 Articulo científico

GRADO DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS DEL RIO HUATATAS SEGÚN LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICO'S), HUAMANGA 2024

POLLUTION LEVEL OF THE HUATATAS RIVER WATERS ACCORDING TO POLLUTION INDICES (ICOS), HUAMANGA 2024

Karina Elizabeth Llocclla Quispe

Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

ing.kary777@gmail.com

Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar el grado de contaminación de las aguas del río Huatatas mediante los Índices de Contaminación del Agua (ICO's). El estudio fue de tipo básico, de nivel descriptivo y enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, y contempló una evaluación espacial y temporal. Se realizaron 16 muestreos en cuatro puntos durante octubre, noviembre y diciembre de 2024. Se evaluaron parámetros de calidad del agua para calcular los índices ICOMO, ICOMI, ICOSUS, ICOTRO e ICOpH. Los hallazgos mostraron que las estaciones RHuat-01, RHuat-02 y RHuat-03 presentaron grados de contaminación que oscilaban entre "ninguna" y "baja" de acuerdo a los índices analizados; por otro lado, RHuat-04 evidenció la mayor contaminación, resaltando el índice ICOMI con un valor de 0,613, correspondiente a un grado de contaminación "alta", relacionado con procesos de mineralización. Además, todas las estaciones fueron clasificadas como sistemas "eutróficos". En conjunto, se evidenció una tendencia de incremento de los niveles de contaminación en dirección aguas abajo, lo que estaría relacionado principalmente con la influencia de las actividades humanas desarrolladas a lo largo del río.

Palabras clave: Río Huatatas, grado de contaminación, parámetro, muestreo.

Abstract

The objective of this research was to determine the level of pollution in the Huatatas River using Water Pollution Indices (ICOs). The study was basic research, descriptive in nature, and quantitative in approach, utilizing a non-experimental design that included both spatial and temporal assessments. Sixteen sampling events were conducted at four locations during October, November, and December 2024. Water quality parameters were evaluated to calculate the ICOMO, ICOMI, ICOSUS, ICOTRO, and ICOpH indices. The findings showed that stations RHuat-01, RHuat-02, and RHuat-03 exhibited pollution levels ranging from "none" to "low" according to the analyzed indices; conversely, RHuat-04 showed the highest pollution, notably with an ICOMI value of 0.613—indicating a "high" pollution level—associated with mineralization processes. Furthermore, all stations were classified as "eutrophic" systems. Overall, an upward trend in pollution levels was observed in the downstream direction, likely linked primarily to the influence of human activities along the river.

Keywords: Huatatas River, degree of pollution, parameter, sampling.

I. Introducción

El agua es esencial para los ecosistemas y las actividades humanas, pero su disponibilidad es limitada, ya que solo una pequeña proporción del agua del planeta es dulce y se encuentra en ríos y lagos, aproximadamente solo un 0,01% (AQUAE, 2021). Su contaminación está relacionada principalmente con actividades humanas, como el uso de fertilizantes, las descargas de aguas residuales y la disposición inadecuada de residuos, que alteran sus características físicas, químicas y microbiológicas y afectan la salud y los

ecosistemas (Denchak, 2023). En el Perú, el crecimiento poblacional y la expansión urbana agravan esta problemática, debido al incremento de las descargas sin tratamiento, los residuos sólidos y el uso de productos agrícolas, que deterioran la calidad del agua (Arteaga, 2023). En este contexto, el río Huatatas, ubicado en la provincia de Huamanga, región Ayacucho, enfrenta una problemática ambiental asociada a la contaminación de sus aguas. A lo largo de su recorrido se desarrollan diversas actividades humanas que pueden afectar su calidad, entre ellas el vertimiento de aguas residuales domésticas, el lavado de vehículos y ropa, la crianza de animales, la extracción de agregados y la disposición inadecuada de residuos sólidos. A esta situación se suman el crecimiento demográfico y la expansión urbana, factores que incrementan la presión sobre el río y pueden contribuir al deterioro progresivo de sus aguas. Esta problemática hace necesario evaluar las condiciones del recurso hídrico para conocer el grado de contaminación presente en los distintos sectores de su recorrido. Para ello, los Índices de Contaminación del Agua (ICO's)) constituyen una herramienta que permite integrar los resultados de diferentes parámetros físicos, químicos y microbiológicos en valores numéricos de fácil interpretación. Su aplicación facilita la identificación del grado de alteración del agua y la comparación de las condiciones observadas en distintos puntos de muestreo (Ramírez, Restrepo y Cardeñosa, 1999). Por tanto, la evaluación de estos índices en el río Huatatas permite conocer las condiciones de sus aguas durante el periodo estudiado y generar información útil para orientar futuras acciones de conservación y gestión del recurso hídrico.

II. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

La investigación se desarrolló en el río Huatatas, ubicado en la provincia de Huamanga, región Ayacucho, Perú. El área evaluada comprendió un tramo aproximado de 7,405 km, considerando sectores representativos de las condiciones ambientales y actividades antrópicas desarrolladas en las riberas del río.

2.2. Diseño de investigación

La investigación fue de tipo básico, nivel descriptivo, enfoque cuantitativo y diseño no experimental, considerando la variación espacial y temporal. Se aplicó estadística descriptiva y un Diseño de Bloques Completamente al Azar mediante Statgraphics Centurion XVI.II, y se analizaron las variaciones con Microsoft Excel. Los resultados se compararon con los ECA para Agua, Categoría 4, establecidos en el D.S. Nº 004-2017-MINAM.

2.3. Muestreo y análisis de laboratorio

El muestreo se realizó según el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. Nº 010-2016-ANA), en cuatro estaciones, recolectándose 16 muestras entre octubre y diciembre de 2024. Los parámetros in situ se midieron con equipos multiparamétricos, mientras que los análisis de alcalinidad, dureza total y sólidos suspendidos totales se efectuaron en el Laboratorio de Química Analítica y Análisis Instrumental de la UNSCH. Los coliformes totales y termotolerantes, la DBO_5 y el fósforo total se analizaron en SGS del Perú, laboratorio acreditado por INACAL, mediante métodos estandarizados de APHA (2017). La tabla 1 presenta los métodos y técnicas utilizados para determinar los parámetros evaluados.

Tabla 1. Técnicas y métodos de recolección

Parámetro	Método	Referencia
Coliformes totales	Tubos múltiples	EW_APHA9221B
Coliformes termotolerantes	Tubos múltiples	EW_APHA9221E_NMP
DBO5	Respirométrico/manométrico	EW_APHA5210B
% saturación de oxígeno	Electrométrico	Multiparámetro ODEON FONSEL
Alcalinidad	Titulación	Manual de procedimiento
Dureza total	Titulación	Manual de procedimiento
Potencial de hidrógeno	Electrométrico	Multiparámetro HACH HQ40D
Fósforo total	Espectrofotométrico	EW_APHA4500PJF
Conductividad	Electrométrico	Multiparámetro HACH HQ40D
Sólidos suspendidos totales	Gravimétrico	Method 2540-D

Nota. Fuente: APHA (2017)

El grado de contaminación del río Huatatas, se evaluó mediante los ICO's, considerando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (tabla 2).

Tabla 2. Índices de contaminación ICO's

ICO's	Indicador
Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)	DBO_5, % saturación oxígeno y coliformes totales
Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)	Conductividad, dureza y alcalinidad
Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)	Sólidos suspendidos totales
Índice de contaminación trófica (ICOTRO)	Fósforo total
Índice de contaminación por pH (ICOpH)	pH

La tabla 3 presenta los rangos de los ICO's, comprendidos entre 0,0 y 1,0, que permitió determinar el grado de contaminación de las aguas del río Huatatas.

Tabla 3. Rangos índices de contaminación

Valor de los ICO's	Caracterización	Clasificación de la contaminación	Leyenda
0,8 – 1,0	Áreas muy contaminadas	Contaminación muy alta	
0,6 – 0,8	Incidencia importante de contaminación	Contaminación alta	
0,4 – 0,6	Notable actividad antrópica	Contaminación media	
0,2 – 0,4	Con leve incidencia antrópica	Contaminación baja	
0,0 – 0,2	Aguas puras y quizá con aportes biogénicos	Contaminación ninguna	

Nota. Caracterización, clasificación y leyenda de los índices de contaminación, adaptadas de Ramírez y Viña (1997), según Montero y Ramírez (2018).

III. Resultados y discusión

3.1. Resultados

3.1.1. Estaciones y fechas de muestreo

Durante el periodo de estudio se evaluaron cuatro estaciones de muestreo, en las que se recolectaron 16 muestras entre octubre y diciembre de 2024. Las características y ubicación de las estaciones se presentan en la tabla 5, mientras que las fechas de muestreo se detallan en la tabla 4.

Tabla 4. Fechas de muestreo en temporada de estiaje (2024)

Descripción	Fecha de muestreo
M1	01 de octubre del 2024
M2	30 de octubre del 2024
M3	29 de noviembre del 2024
M4	27 de diciembre del 2024

Tabla 5. Características de las estaciones de muestreo en el río Huatatas

Código	Altitud (m.s.n.m)	Ubicación (UTM)		Características de la zona	Referencia	Fotografía
		Norte(m)	Este(m)			
RHuat-01	2738	8540158	586331	Zona con presencia de variedad de flora y fauna silvestre.	Puente Pucará	
RHuat-02	2674	8542234	587470	Zonas de actividad agrícola de frutales, hortalizas y legumbres.	Puente Santa Rosa	
RHuat-03	2634	8543563	587628	Zona de mayor afluencia para el lavado de ropas y vehículos por su accesibilidad.	Puente Huatatas	
RHuat-04	2563	8546565	587787	Zonas de actividades antropogénicas como recreos y extracción de agregado.	550 metros antes del encuentro entre el rio Huatatas y rio Alameda	

3.1.2. Parámetros de calidad de agua evaluados

Los resultados del análisis de los parámetros de calidad de las aguas del río Huatatas se presentan en las tablas 6-9.

Tabla 6. Parámetros de calidad, primera fecha de muestreo (M1)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Coliformes totales (NMP/100 ml)	130,00	490,00	330,00	1100,00
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	4,50	33,00	79,00	230,00
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	< 2,6	< 2,6	< 2,6	< 2,6
Oxígeno disuelto (mg/L)	5,77	6,11	5,24	5,41
Porcentaje de saturación de oxígeno (%)	91,93	100,88	85,80	88,33
Alcalinidad (mg/L)	110,76	105,44	106,86	170,05
Dureza total (mg/L)	54,78	52,19	60,29	118,32
Potencial de hidrógeno (pH)	8,81	9,15	8,84	9,13

Fósforo total (mg/L)	0,01	0,04	0,05	0,03
Conductividad eléctrica (µS/cm)	175,93	218,13	210,67	397,93
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	6,07	10,77	16,47	20,20

Tabla 7. Parámetros de calidad, segunda fecha de muestreo (M2)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Coliformes totales (NMP/100 ml)	33,00	350,00	790,00	1300,00
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	7,80	33,00	23,00	230,00
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	< 2,6	< 2,6	< 2,6	< 2,6
Oxígeno disuelto (mg/L)	5,34	5,54	4,87	4,98
Porcentaje de saturación de oxígeno (%)	88,11	92,23	79,78	82,27
Alcalinidad (mg/L)	87,69	81,30	86,98	160,11
Dureza total (mg/L)	56,08	60,62	59,32	119,29
Potencial de hidrógeno (pH)	9,15	9,31	8,82	8,83
Fósforo total (mg/L)	0,06	0,04	0,05	0,06
Conductividad eléctrica (µS/cm)	171,63	195,10	201,97	386,83
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	8,43	15,60	19,00	34,10

Tabla 8. Parámetros de calidad, tercera fecha de muestreo (M3)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Coliformes totales (NMP/100 ml)	330,00	1300,00	1400,00	3500,00
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	130,00	330,00	230,00	1300,00
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	< 2,6	< 2,6	< 2,6	< 2,6
Oxígeno disuelto (mg/L)	5,71	5,87	5,49	5,48
Porcentaje de saturación de oxígeno (%)	82,67	90,80	85,65	85,55
Alcalinidad (mg/L)	61,06	57,87	63,90	93,01
Dureza total (mg/L)	45,06	43,11	39,87	92,39
Potencial de hidrógeno (pH)	8,27	8,63	8,76	8,57
Fósforo total (mg/L)	0,07	0,10	0,10	0,09
Conductividad eléctrica (µS/cm)	126,22	160,87	135,63	186,73
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	23,37	47,97	85,10	73,30

Tabla 9. Parámetros de calidad, cuarta fecha de muestreo (M4)

Parámetros	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
Coliformes totales (NMP/100 ml)	700,00	2400,00	3500,00	5400,00
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	33,00	33,00	330,00	790,00
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	< 2,6	< 2,6	< 2,6	< 2,6
Oxígeno disuelto (mg/L)	5,72	5,65	5,36	5,47
Porcentaje de saturación de oxígeno (%)	88,87	86,62	84,93	88,74
Alcalinidad (mg/L)	81,30	92,66	86,98	122,83
Dureza total (mg/L)	47,98	59,65	75,20	84,28
Potencial de hidrógeno (pH)	8,13	8,80	8,81	9,04
Fósforo total (mg/L)	0,03	0,03	0,03	0,03
Conductividad eléctrica (µS/cm)	81,10	86,20	93,03	140,07
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	28,00	95,77	111,63	114,03

Los resultados mostraron variaciones en los parámetros evaluados según las estaciones y fechas de muestreo. Los coliformes totales alcanzaron un máximo de 5400 NMP/100 mL en RHuat-04 durante M4, mientras que los termotolerantes registraron concentraciones entre 4,5 y 1300 NMP/100 mL, con los valores más altos en la misma estación. La DBO_5 se mantuvo por debajo de 2,6 mg/L en todas las estaciones; el oxígeno disuelto varió entre 4,87 y 6,11 mg/L, y su saturación, entre 79,78 % y 100,88 %. La alcalinidad fluctuó entre 57,87 y 170,05 mg $CaCO_3$/L, la dureza total entre 39,87 y 119,29 mg/L y el pH entre 8,13 y 9,31. El fósforo total presentó valores de 0,01 a 0,10 mg/L. Por su parte, la conductividad eléctrica osciló entre 81,10 y 397,93 µS/cm, mientras que los sólidos suspendidos totales (SST) variaron entre 6,07 y 114,03 mg/L, con los máximos registrados en RHuat-04 para ambos parámetros.

3.1.3. Índices de contaminación de Agua (ICO's)

Los resultados obtenidos en las cuatro estaciones de muestreo (RHuat-01 a RHuat-04) permitieron evaluar la variación espacio-temporal del grado de contaminación de las aguas del rio Huatatas.

Tabla 10. Índices de contaminación, primera fecha de muestreo (M1)

ICO	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
ICOMO	0,107	0,080	0,127	0,206
ICOMI	0,300	0,352	0,351	0,867
ICOSUS	0,000	0,012	0,029	0,041
ICOpH	0,338	0,605	0,362	0,603
ICOTRO	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico

Tabla 11. Índices de contaminación, segunda fecha de muestreo (M2)

ICO	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
ICOMO	0,119	0,106	0,208	0,240
ICOMI	0,257	0,286	0,304	0,850
ICOSUS	0,005	0,027	0,037	0,082
ICOpH	0,616	0,737	0,345	0,354
ICOTRO	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico

Tabla 12. Índices de contaminación, tercera fecha de muestreo (M3)

ICO	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
ICOMO	0,138	0,212	0,235	0,309
ICOMI	0,143	0,183	0,158	0,395
ICOSUS	0,050	0,121	0,235	0,200
ICOpH	0,076	0,219	0,303	0,179
ICOTRO	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico

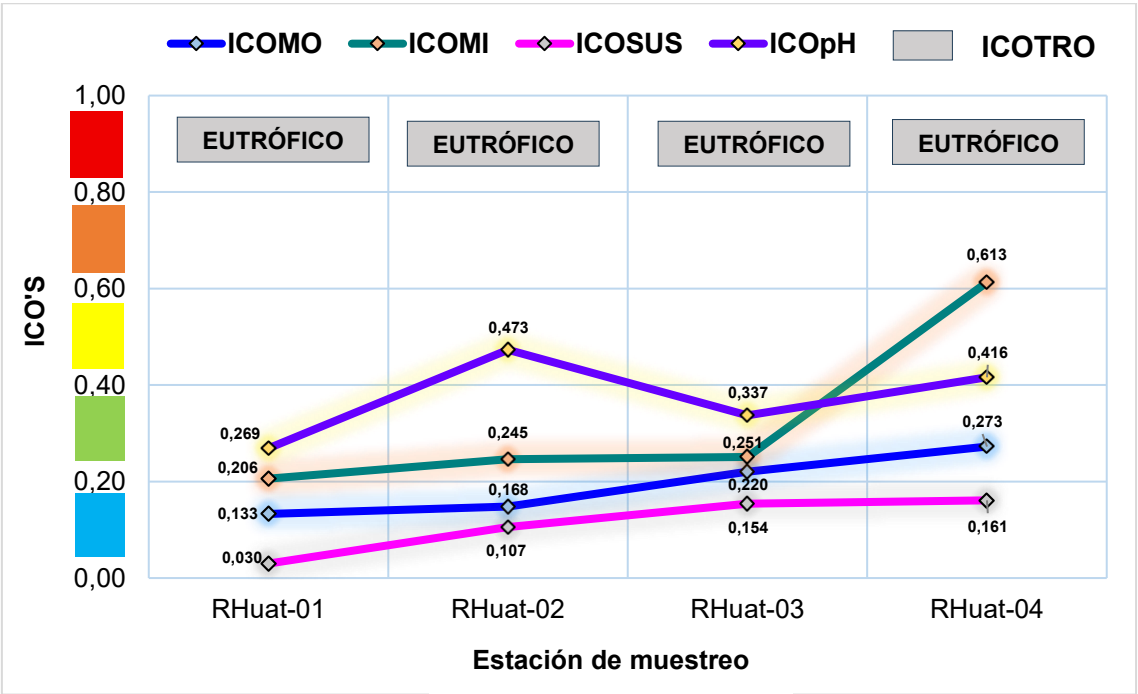
Tabla 13. Índices de contaminación, cuarta fecha de muestreo (M4)

ICO	Estación de muestreo			
	RHuat-01	RHuat-02	RHuat-03	RHuat-04
ICOMO	0,168	0,275	0,312	0,334
ICOMI	0,125	0,161	0,190	0,340
ICOSUS	0,064	0,267	0,315	0,322
ICOpH	0,047	0,330	0,338	0,527
ICOTRO	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico	Eutrófico

Tabla 12. Variación espacial de los ICO's del río Huatatas durante la temporada de estudio

Estación de muestreo	Índices de contaminación (ICO´s)									
	ICOMO		ICOMI		ICOSUS		ICOTRO		ICOpH	
RHuat-01	0,133	Ninguna	0,206	Baja	0,030	Ninguna	0,045	EUTRÓFICO	0,269	Baja
RHuat-02	0,168	Ninguna	0,245	Baja	0,107	Ninguna	0,052	EUTRÓFICO	0,473	Media
RHuat-03	0,220	Baja	0,251	Baja	0,154	Ninguna	0,061	EUTRÓFICO	0,337	Baja
RHuat-04	0,273	Baja	0,613	Alta	0,161	Ninguna	0,046	EUTRÓFICO	0,416	Media

Figura 1. Comportamiento espacial de los ICO's del río Huatatas



Respecto a los Índices de Contaminación (ICO's), se observó un incremento progresivo de los valores de ICOMO, ICOMI e ICOSUS desde RHuat-01 hasta RHuat-04. El índice ICOTRO clasificó todas las estaciones dentro del sistema "eutrófico". En cuanto al ICOpH, los valores presentaron variaciones entre las estaciones evaluadas durante la temporada de estudio.

3.2. Discusión

Los resultados indican que el río Huatatas mantiene condiciones favorables en algunos parámetros de calidad del agua, principalmente por los bajos valores de DBO_5 y los niveles de oxígeno disuelto. Estos hallazgos

coinciden con lo reportado por Ramos (2021) en el río Chumbao y por Aronés, Véliz y Palomino (2018) en el río Huatatas. Sin embargo, el incremento de coliformes totales y termotolerantes en determinadas estaciones evidencia una posible influencia de las actividades humanas, como las descargas domésticas y pecuarias, en concordancia con Gonzáles (2017), Béjar y Mendoza (2018) y Ramos (2021). El pH presentó valores alcalinos en algunas estaciones, mientras que la dureza clasificó las aguas entre blandas y moderadamente duras, en concordancia con los resultados de Jayo (2022) y Gamarra et al. (2018). Asimismo, la conductividad eléctrica y los sólidos suspendidos totales mostraron variaciones entre estaciones, con valores máximos en RHuat-04, posiblemente relacionados con la erosión, la escorrentía y las actividades desarrolladas en las zonas aledañas. Aunque la mayoría de los parámetros se mantuvo dentro de los límites de los ECA para agua, Categoría 4, Subcategoría E2, sin embargo, en determinados puntos de muestreo se registraron valores de pH y fósforo total que superaron los límites establecidos. Estas variaciones muestran que, aunque la calidad del agua mantiene condiciones favorables para varios parámetros, existen sectores puntuales donde se evidencia un mayor deterioro.

En cuanto a los Índices de Contaminación (ICO’s), se observó una tendencia creciente desde RHuat-01 hasta RHuat-04. El ICOMO varió de 0,133 (ninguna contaminación) a 0,273 (baja), mientras que el ICOMI aumentó de 0,206 (baja) a 0,613 (alta). El ICOSUS presentó valores entre 0,030 y 0,161, ambos correspondientes a ninguna contaminación. Por su parte, el ICOTRO clasificó todas las estaciones como eutróficas, y el ICOpH osciló entre 0,269 (baja) y 0,473 (media). En conjunto, estos resultados evidencian un mayor impacto en los sectores aguas abajo, posiblemente asociado con el lavado de ropa y vehículos, el uso de productos químicos y las descargas de aguas

residuales. Esta tendencia coincide con lo señalado por Trujillo (2020), Ramos (2021) y Jayo (2022) en otros sistemas fluviales.

Conclusiones

1. El río Huatatas presentó grados de contaminación entre “ninguna” y “baja” en las estaciones RHuat-01, RHuat-02 y RHuat-03, mientras que RHuat-04 registró la mayor afectación, con un ICOMI de 0,613, correspondiente a un grado de contaminación “alta”. Además, todas las estaciones fueron clasificadas como eutróficas. En conjunto, los resultados evidenciaron un incremento de la contaminación hacia la parte baja del río, asociado principalmente a actividades antrópicas.
2. Los parámetros microbiológicos mostraron mayores concentraciones de coliformes totales y termotolerantes en las estaciones ubicadas aguas abajo. Los resultados fueron comparados con los ECA para Agua establecidos mediante el D.S. N.º 004-2017-MINAM, Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, subcategoría E2: Ríos de la costa y sierra. La presencia de estos indicadores refleja la influencia de actividades humanas y aportes de origen doméstico.
3. La mayoría de los parámetros químicos se mantuvo dentro de los valores establecidos por los ECA para Agua, Categoría 4, subcategoría E2: Ríos de la costa y sierra. Sin embargo, se registraron valores elevados de pH y concentraciones puntuales de fósforo total que superaron los valores establecidos, evidenciando alteraciones en la calidad del agua relacionadas con las actividades desarrolladas en las riberas.
4. La conductividad eléctrica se mantuvo dentro de los valores establecidos por los ECA para Agua, Categoría 4, subcategoría E2: Ríos de la costa y sierra. En cambio, los sólidos suspendidos totales presentaron un incremento en

RHuat-04 y superaron el valor establecido para esta subcategoría. Este comportamiento se relacionó con procesos de erosión, escorrentía superficial y aportes antrópicos, evidenciando un mayor deterioro de la calidad del agua hacia los tramos bajos del río.

Referencias bibliográficas

Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. Repositorio Digital de Recursos Hídricos. https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0

American Public Health Association (APHA). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association.

Aronés Medina, E. G., Véliz Florez, R. R., & Palomino Malpartida, Y. G. (2018). Evaluación de la calidad del agua del río Huatatas, aplicando el ICA, región Ayacucho. *Revista de Investigación*. https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.2018.1.67

Baird, R., Eaton, A., & Rice, E. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association.*

Cañas, A. J. (2010). *Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICOS) en cuerpos de agua*. Makro Construcciones LTDA. https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/bcbd4915-453a-455e-8a5c-0ac7017f88c2/content

Gamarra, O., Barrena, M., Barboza, E., Rascón, J., Corroto, F., & Taramona, L. (2018). Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río

Utcubamba, región Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 25(1), 179–194. https://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25111

Jayo Cuellar, Z. (2022). *Evaluación de la contaminación del río Muyurina empleando el método de los índices de contaminación (ICO), Ayacucho 2018-2019* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional. http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5780

Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental para Agua.*

Montero, M. V., & Ramírez, D. Y. (2018). *Análisis de la variabilidad en la calidad del agua, a partir del uso de índices de contaminación (ICO's) como aporte al POMCA de la cuenca del río Guayuriba* [Tesis de grado, Universidad Santo Tomás]. http://hdl.handle.net/11634/13688

Ramos Pacheco, B. S. (2021). *Variación espacial y temporal de los índices de contaminación del agua en la microcuenca Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, 2018* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional. http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/6594

Roldán Pérez, G., & Ramírez Restrepo, J. (2022). *Fundamentos de limnología neotropical.* Editorial Universidad de Antioquia.

ESCUELA DE
POSGRADO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°0165-2026-UNSCH-EPG/KBA

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de Posgrado en segunda instancia para la **Escuela de Posgrado – UNSCH**; en cumplimiento a la Resolución Directoral Nº002-2026-UNSCH-EPG/D, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

AUTOR	Bach. KARINA ELIZABETH LLOCCLLA QUISPE
DENOMINACIÓN DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS	MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
GRADO ACADÉMICO QUE OTORGA	MAESTRO
DENOMINACIÓN DEL GRADO ACADÉMICO	MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL
TÍTULO DE TESIS	Grado de Contaminación de las Aguas del Río Huatatas según los Índices de Contaminación (ICO´S), Huamanga 2024
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD	21% de similitud
N° DE TRABAJO	3065017021
FECHA	19 de octubre de 2026

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es procedente otorgar la constancia de originalidad con depósito.

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que crea conveniente.

19 de octubre de 2026.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE POSGRADO
Mg. Kelvis BERROCAL ARGUMEDO
Sub Director de Investigación

CC.
Archivo
KBA/

Grado de Contaminación de las Aguas del Río Huatatas según los Índices de Contaminación (ICO's), Huamanga 2024

por Karina Elizabeth LLOCCLLA QUISPE

Fecha de entrega: 19-oct-2026 10:02p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 3065017021
Nombre del archivo: Karina_Elizabeth_LLOCCLLA_QUISPE_T.docx (32.04M)
Total de palabras: 36369
Total de caracteres: 206083

Grado de Contaminación de las Aguas del Río Huatatas según los Índices de Contaminación (ICO's), Huamanga 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%	22%	13%	10%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.ufpso.edu.co:8080 Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1%
12	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	<1%
13	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1%
14	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1%

15	WALSH PERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS CONSULTORES. "PMA del Proyecto Reinyección de Cortes de Perforación en el Yacimiento Chambira - Lote 8-IGA0004833", R.D. N° 353-2013-MEM/AAE, 2020 Publicación	<1 %
16	Submitted to Universidad Nacional Agraria la Molina Trabajo del estudiante	<1 %
17	www.corpoboyaca.gov.co Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unah.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	www.senace.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
20	ridum.umanizales.edu.co Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	ninive.ismm.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to Universidad Nacional de Cajamarca Trabajo del estudiante	<1 %
26	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	Submitted to espam Trabajo del estudiante	<1 %
28	KNIGHT PIESOLD CONSULTORES S.A.. "EIA del Proyecto Constancia-IGA0000697", R.D. Nº 390-2010-MEM-AAM, 2020 Publicación	<1 %
29	api-repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.oefa.gob.pe Fuente de Internet	<1 %

31	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	editorialeidec.com Fuente de Internet	<1 %
33	repositorio.unicach.mx Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	Flores Takahashi, Jose Satoshi. "Analisis de una red de monitoreo de calidad de agua en la cuenca del rio Jequetepeque mediante analisis multivariado", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2021 Publicación	<1 %
36	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
37	SILVER PALLADIUM S.A.C.. "Plan de Recuperación de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos Botadero La Paz de la Provincia de Satipo-IGA0016924", R.G. N° 0331-2021-GM/MPS, 2022 Publicación	<1 %
38	WALSH PERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS CONSULTORES. "Plan de Abandono por Término de Actividades en el Lote 108-IGA0019135", R.D. Nº 303-2021-MINEM/DGAAH, 2022 Publicación	<1 %
39	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	doi.org Fuente de Internet	<1 %
41	GRUPO DE NEGOCIOS G & A S.A.C.. "DIA del Proyecto de Exploración Paco Paco-IGA0000535", C.A.A. N° 044-2013-MEM-AAM, 2020 Publicación	<1 %
42	NELSON RODRÍGUEZ VALENCIA. "Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas.", Universitat Politecnica de Valencia, 2009 Publicación	<1 %
43	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
44	Ticona Añazco, Kevin Mickhail. "Índice de riesgo de la calidad de agua (IRCA) del afluente Río Azángaro en el sistema de potabilización en la EPS NOR-Puno S.A.	<1 %

	Azángaro.", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	
45	Submitted to ucss Trabajo del estudiante	<1 %
46	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
47	www.revistatyca.org.mx Fuente de Internet	<1 %
48	Submitted to D.A. de Ingeniería Civil Trabajo del estudiante	<1 %
49	PROYECTOS, ASESORIA, SERVICIOS A LA MINERIA Y ASUNTOS AMBIENTALES SAC - PASMINAA SAC. "Actualización del Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Suyckutambo-IGA0001346", R.D. N° 160-2016-MEM/DGAAM, 2020 Publicación	<1 %
50	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
51	#N/A. "Segundo ITS del Proyecto Antapaccay Expansión Tintaya para Ampliar la Planta Concentradora Tintaya, Adición de Componentes para la Planta Antapaccay entre otros Componentes Auxiliares-IGA0000799", R.D. Nº 501-2015-MEM-DGAAM, 2020 Publicación	<1 %
52	INSIDEO SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - INSIDEO S.A.C.. "ITS del Proyecto Ampliación de la Potencia Instalada de la Central Hidroeléctrica La Virgen-IGA0001257", R.D. N° 052-2016-MEM/DGAAE, 2020 Publicación	<1 %
53	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
54	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
55	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
56	GOLDER ASSOCIATES PERU S.A.. "Actualización del PIA de la Unidad Minera Raura-IGA0016187", R.D. N° 033-2022/MINEM-DGAAM, 2022 Publicación	<1 %
57	Submitted to Universidad Nacional de Piura Trabajo del estudiante	<1 %

58	WSP PERU CONSULTORIA S.A.. "Segunda MEIA-D del Proyecto de Ampliación de las Operaciones Minero-Metalúrgicas a 4 200 TMD de la Unidad Minera Animón-IGA0016878", R.D. Nº 00059-2022-SENACE-PE/DEAR, 2022 Publicación	<1 %
59	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1 %
60	HUMING INGENIEROS SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - HUMING INGENIEROS S.A.C.. "ITS del Proyecto: Construcción del Túnel del Pase, Pozas Sedimentaria, Almacén, Polvorín y Parque Industrial de la Central Hidroeléctrica 8 de Agosto 19 MW y la Modificación de la Línea de Transmisión de 138 kV S.E. 8 de Agosto - S.E. Tingo María-IGA0003170", R.D.R. N° 53-2019-GR-HUANUCO/DREMH, 2020 Publicación	<1 %
61	SOLUCIONES ENERGETICAS RENOVABLES SOCIEDAD DE RESPONSABILIDAD LIMITADA. "PMA Central Térmica de Caballo Cocha 2.485 MW-IGA0002057", Oficio N° 046-2017-GRL/DREM-L, 2022 Publicación	<1 %
62	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
63	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
64	repositorioinstitucional.ufpso.edu.co Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 30 words
Excluir bibliografía	Activo		

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR
EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL
RESOLUCIÓN DIRECTORAL N°00613-2026-UNSCH-EPG/D.

Siendo las 04:00 a.m. del 17 de julio de 2026 se reunieron en el auditórium de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis, presidido por el **Dr. MARCELINO POMASONCCO ILLANES** Director (e) de la Escuela de Posgrado, el **Mtro. ABEL NILO JUSCAMAYTA TOMASEVICH** Director de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, e integrado por los siguientes miembros: **Dr. ALBERTO LUIS HUAMANI HUAMANI** y el **Mtro. EDGAR GREGORIO ARONES MEDINA**; para la sustentación oral y pública de la tesis titulada: **GRADO DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS DEL RIO HUATATAS SEGÚN LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICO´S), HUAMANGA 2024,** presentado por la **Bach. KARINA ELIZABETH LLOCCLLA QUISPE.** Teniendo como asesora a la **Mg. GLORIA INES BARBOZA PALOMINO.**

Acto seguido se procedió a la exposición de la tesis, con el fin de optar el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL.** Formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por la graduanda.

A continuación, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis procedió a la votación, la que dio como resultado el siguiente calificativo: DIECISIETE (17).

CALIFICACION (x)	
Aprobado(a) por Unanimidad.	X
Aprobado(a) por Mayoría.	
Desaprobado(a) por Unanimidad.	
Desaprobado(a) por Mayoría.	

Marcar con un aspa (x).

Luego, el presidente del Jurado recomienda que la Escuela de Posgrado proponga que se le otorgue a la **Bach. KARINA ELIZABETH LLOCCLLA QUISPE,** el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL.** Siendo las 6:00 p.m. hrs. se levanta la sesión.

Se extiende el acta en la ciudad de Ayacucho, a las 6:00 p.m. hrs. del 17 de julio de 2026.

Dr. MARCELINO POMASONCCO ILLANES
Director (e) de la Escuela de Posgrado.

Mtro. ABEL NILO JUSCAMAYTA TOMASEVICH
Director de la UPG-FIQM.

Dr. ALBERTO LUIS HUAMANI HUAMANI
Miembro.

Mtro. EDGAR GREGORIO ARONES MEDINA
Miembro.

Dr. ENRIQUE JAVIER AGUILAR FELICES
Secretario Docente.

Observaciones:

.....

.....

.....