

**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA**



**Índice de calidad del agua (ICA) en la microcuenca del río Muyurina y
propuesta de mejora para mitigar la contaminación ambiental,
Huamanga - Ayacucho 2018 - 2019**

Tesis para obtener el grado académico de:
MAESTRA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:
Bach. Sonia Buitron Pizarro

Asesor:
Dr. Edgar Gregorio Arones Medina

Ayacucho - Perú

2024

Dedicatoria

A Dios, a mi familia en especial a mis padres: Marcelino Buitrón Torres y Antonia Pizarro Gutiérrez, por demostrarme su amor y apoyo incondicional, ayudándome a concretar un sueño más, a mí querido hermano Rolando a mi sobrina Dhalia, por darme tanta alegría.

Agradecimiento

Expreso mi agradecimiento a mí alma mater, la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, maestría en Ingeniería Ambiental.

Al Ing. Edgar Aronés Medina por el asesoramiento y revisión de la tesis, brindándome su orientación, consejos y observaciones.

A Zulma Jayo Cuellar, por su apoyo en la toma de muestras del río Muyurina.

A mis padres, por su apoyo incondicional, a mí hermano Rolando, por su cariño, amistad y apoyo.

Agradecer a todos mis compañeros y amigos, quienes me brindaron su apoyo y acompañamiento en muchos momentos durante la elaboración de esta investigación.

Índice General

| | |
|---|------|
| Dedicatoria..... | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Índice General..... | iv |
| Índice de Tablas..... | x |
| Índice de Figuras | xii |
| Índice de Anexos | xiv |
| Resumen | xv |
| Abstract..... | xvii |
| Introducción..... | 19 |
| Capítulo I Planteamiento Del Problema | 22 |
| 1.1. Descripción del problema | 22 |
| 1.2. Formulación del problema | 24 |
| 1.2.1. Problema principal..... | 24 |
| 1.2.2. Problemas secundarios..... | 24 |
| 1.3. Objetivos..... | 25 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 25 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 25 |
| 1.4. Hipótesis | 25 |
| 1.4.1. Hipótesis general..... | 25 |
| 1.4.2. Hipótesis específicas..... | 25 |
| 1.5. Justificación | 25 |
| 1.6. Delimitación del problema | 27 |
| 1.6.1. Delimitación espacial..... | 27 |
| Estación de muestreo 1 | 27 |

| | |
|--|----|
| Estación de muestreo 2 | 27 |
| Estación de muestreo 3 | 27 |
| Estación de muestreo 4 | 27 |
| 1.6.2. Delimitación temporal | 28 |
| Capítulo II Marco Teórico..... | 30 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación..... | 30 |
| 2.1.1. Internacional | 30 |
| 2.1.2. Nacional | 32 |
| 2.1.3. Local | 35 |
| 2.2. Bases teóricas..... | 38 |
| 2.2.1. El agua y el mundo | 38 |
| 2.2.2. Disponibilidad y calidad del recurso agua | 39 |
| (i) una baja eficiencia de uso | 39 |
| (ii) gestión de los recursos de agua | 40 |
| (iii) degradación del medio ambiente..... | 40 |
| (iv) control de la contaminación | 40 |
| 2.2.3. Escasez del agua | 40 |
| Desabastecimiento de agua..... | 40 |
| Estrés hídrico | 41 |
| 2.2.4. Principales aspectos de la escasez del agua | 41 |
| 2.2.5. Agua dulce | 42 |
| 2.2.6. Molécula de agua | 43 |
| 2.2.7. Características físicas y químicas del agua..... | 45 |
| 2.2.8. Calidad del agua..... | 47 |
| 2.2.9. Contaminación | 47 |

| | |
|---|----|
| Características de los contaminantes | 48 |
| Clasificación de la contaminación | 50 |
| 2.2.10. La contaminación del agua | 54 |
| Sustancias contaminantes del agua | 55 |
| Residuos con requerimiento de oxígeno | 55 |
| Agentes patógenos | 57 |
| Nutrientes vegetales inorgánicos | 57 |
| 2.2.11. Índice de calidad del agua..... | 58 |
| Coliformes fecales | 60 |
| pH..... | 61 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO ₅ en mg/L)..... | 61 |
| Nitratos (NO₃ – en mg/L) | 62 |
| Fosfatos (PO₄ – 3 en mg/L)..... | 63 |
| Turbidez (en FAU)..... | 64 |
| Sólidos disueltos totales (en mg/L)..... | 65 |
| Oxígeno disuelto (OD en % saturación) | 66 |
| 2.3. Marco conceptual..... | 66 |
| 2.3.1. Ríos | 66 |
| 2.3.2. Calidad de agua:..... | 67 |
| 2.3.3. Contaminación | 67 |
| Fuentes de contaminación naturales: | 67 |
| Fuentes de contaminación artificiales:..... | 67 |
| 2.3.4. Turbiedad | 68 |
| 2.3.5. Sólidos Totales Disueltos (STD) | 68 |

| | |
|--|----|
| 2.3.6. Temperatura | 68 |
| 2.3.7. Ph | 68 |
| 2.3.8. Oxígeno disuelto (OD)..... | 68 |
| 2.3.9. Nitratos: | 68 |
| 2.3.10. Fosfatos | 69 |
| 2.3.11. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)..... | 69 |
| 2.3.12. Parámetros biológicos..... | 69 |
| 2.3.13. Índice de Calidad de Agua (ICA) | 69 |
| 2.4. Marco legal | 70 |
| 2.4.1. Marco normativo general..... | 70 |
| 2.4.2. Legislación ambiental peruana | 70 |
| 2.4.3. Ley general del ambiente | 71 |
| 2.4.4. Normatividad de aguas | 72 |
| Categoría 1. Poblacional y recreacional | 73 |
| Categoría 2. Actividades marino-costeras | 74 |
| Categoría 3. Riego de vegetales y bebida de animales | 74 |
| Categoría 4. Conservación del ambiente acuático | 75 |
| Capítulo III Diseño Metodológico..... | 80 |
| 3.1. Tipo y nivel de investigación..... | 80 |
| 3.2. Diseño de investigación | 80 |
| 3.3. Operacionalización de variables | 81 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 82 |
| 3.4.1. Técnicas de recolección de datos..... | 82 |
| Planificación del monitoreo | 83 |
| Toma de muestra..... | 85 |

| | |
|---|----|
| Conservación y preservación de la muestra..... | 87 |
| 3.4.2. Instrumentos de recolección de datos | 90 |
| Equipos | 90 |
| | 90 |
| Materiales..... | 91 |
| Reactivos..... | 92 |
| 3.5. Técnicas de procedimiento y análisis de datos | 92 |
| 3.5.1. Técnicas determinación de parámetros para el ICA | 92 |
| Procedimiento para la determinación de Oxígeno Disuelto, temperatura y pH..... | 92 |
| Procedimiento para la determinación de turbidez..... | 93 |
| Procedimiento para la determinación de Sólidos Disueltos Totales..... | 93 |
| Procedimiento para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno | 94 |
| Procedimiento para la determinación de nitratos..... | 94 |
| Procedimiento para la determinación de fosfatos | 95 |
| Procedimiento para la determinación de coliformes fecales | 96 |
| 3.5.2. Análisis de datos | 97 |
| Análisis básicos..... | 97 |
| Análisis gravimétricos | 97 |
| Análisis colorimétricos | 97 |
| Espectrofotometría..... | 97 |
| Análisis microbiológico..... | 98 |
| Capítulo IV Resultados Y Discusión..... | 99 |
| 4.1. Potencial de hidrógeno | 99 |

| | |
|--|-----|
| 4.2. Oxígeno Disuelto | 102 |
| 4.3. Variación de temperatura..... | 103 |
| 4.4. Sólidos Disueltos Totales | 105 |
| 4.5. Turbidez..... | 106 |
| 4.6. Fosfatos..... | 108 |
| 4.7. Nitratos | 109 |
| 4.8. Demanda Biológica de Oxígeno..... | 111 |
| 4.9. Coliformes fecales | 113 |
| 4.10. Índice de Calidad de Agua..... | 116 |
| 4.11. Propuesta de mejora para mitigar la contaminación ambiental..... | 119 |
| Conclusiones..... | 125 |
| Recomendaciones | 127 |
| Referencias Bibliográficas..... | 128 |
| Anexos..... | 137 |

Índice de Tablas

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Tabla 1 | Distribución del agua en la tierra..... | 38 |
| Tabla 2 | Tiempo en que tardan en degradarse distintos tipos de materiales..... | 49 |
| Tabla 3 | Parámetros del agua que pueden ser alterados por un contaminante..... | 55 |
| Tabla 4 | Calidad del agua para distintos valores de DBO ₅ | 56 |
| Tabla 5 | Calidad del agua para distintos valores de DQO | 57 |
| Tabla 6 | Clasificación del “ICA” propuesto por Brown..... | 59 |
| Tabla 7 | Rangos de concentración de OD y consecuencias eco sistémicas frecuentes | 66 |
| Tabla 8 | Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, D.S. N° 004 – 2017-MINAM..... | 78 |
| Tabla 9 | Operacionalización de variables | 81 |
| Tabla 10 | Coordenadas UTM de los puntos de muestreo evaluado..... | 84 |
| Tabla 11 | Conservación y preservación de muestra de agua en función del parámetro evaluado..... | 88 |
| Tabla 12 | Parámetros necesarios para el ICA | 89 |
| Tabla 13 | Lecturas de pH en los cuatro puntos por cada muestreo, ECA para agua categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM y datos estadísticos | 100 |
| Tabla 14 | Lecturas de OD (mg/L) en los cuatro puntos por cada muestreo, ECA para agua categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM y datos estadísticos..... | 102 |
| Tabla 15 | Variación de temperatura (°C) en los cuatro puntos por cada muestreo y datos estadísticos | 104 |
| Tabla 16 | Lecturas de SDT (mg/L) en los cuatro puntos por cada muestreo y datos estadísticos..... | 105 |
| Tabla 17 | Lecturas de turbidez (UNT) en los cuatro puntos por cada muestreo y datos | |

| | |
|--|-----|
| estadísticos | 107 |
| Tabla 18 Fosfatos en los cuatro puntos por cada muestreo y datos estadísticos | 108 |
| Tabla 19 Nitratos en los cuatro puntos por cada muestreo y datos estadísticos | 110 |
| Tabla 20 DBO5 (mg/L) en los cuatro puntos por cada muestreo, ECA para agua categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM y datos estadísticos | 112 |
| Tabla 21 Coliformes fecales (NMP/100 mL) en los cuatro puntos por cada muestreo, ECA para agua categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM y datos estadísticos | 114 |
| Tabla 22 ICA en los cuatro puntos por cada muestreo y datos estadísticos | 116 |
| Tabla 23 Clasificación del ICA según los resultados obtenidos..... | 117 |
| Tabla 24 Grupos de parámetros controlados por la red COCA..... | 122 |
| Tabla 25 Frecuencia de muestreo de la red COCA | 122 |

Índice de Figuras

| | | |
|------------------|---|-----|
| Figura 1 | Ubicación de las estaciones de muestreo..... | 28 |
| Figura 2 | Representación de la molécula de agua | 44 |
| Figura 3 | Asociaciones de moléculas de agua..... | 46 |
| Figura 4 | Tipo de microorganismos patógenos | 50 |
| Figura 5 | Distintos tipos de contaminación física | 51 |
| Figura 6 | Productos tóxicos usados en el hogar | 52 |
| Figura 7 | Distintos tipos de contaminación de origen antrópico, que degradan el suelo, aire y agua..... | 54 |
| Figura 8 | Esquema de toma de muestra en época de estiaje | 85 |
| Figura 9 | Esquema de toma de muestra en época de lluvia | 86 |
| Figura 10 | Esquema de la organización de puntos de muestreo | 87 |
| Figura 11 | Esquema del procedimiento para determinar coliformes fecales | 98 |
| Figura 12 | Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar del pH de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses | 101 |
| Figura 13 | Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios del OD de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses y ECA para agua categoría 3 | 103 |
| Figura 14 | Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios de variación de temperatura de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses | 104 |
| Figura 15 | Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios de SDT de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses..... | 106 |

| | |
|---|-----|
| Figura 16 Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios de turbidez de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses..... | 107 |
| Figura 17 Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios de fosfatos de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses..... | 109 |
| Figura 18 Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios de nitratos de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses..... | 111 |
| Figura 19 Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios de la DBO5 de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses y ECA para agua categoría 3 | 113 |
| Figura 20 Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios de coliformes fecales de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses y ECA para agua categoría 3 | 115 |
| Figura 21 Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios del ICA de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses..... | 117 |
| Figura 22 Actuaciones para la protección de la calidad de aguas..... | 120 |
| Figura 23 Mapa de Estaciones de muestreo periódico de la red ICA en funcionamiento | 123 |
| Figura 24 Mapa de aptitud del agua para el regadío | 124 |

Índice de Anexos

| | | |
|----------------|---|-----|
| Anexo 1 | Panel fotográfico..... | 138 |
| Anexo 2 | Procedimiento para la obtención de los parámetros fisicoquímicos de recursos hídricos | 151 |
| Anexo 3 | Índices de NMP para distintas combinaciones de resultados positivos, cuando se utilizan 5 y 3 tubos por dilución, respectivamente. | 162 |
| Anexo 4 | Evaluación numérica del ICA..... | 164 |
| Anexo 5 | Datos insitu y de laboratorios en época de estiaje | 169 |
| Anexo 6 | Datos insitu y de laboratorios en época de lluvia | 170 |

Resumen

La calidad del agua de los ríos está constantemente deteriorando debido a la presencia de contaminantes naturales y antropogénicos. Este hecho ha resultado en un aumento de los niveles de dichos contaminantes, lo cual ha suscitado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de estos cuerpos de agua. Esto adquiere una importancia particular dado que el agua de los ríos se utiliza extensamente en actividades agropecuarias y como fuente de consumo humano. La presente investigación se centra en evaluar la calidad del agua del río Muyurina utilizando el Índice de Calidad de Agua (ICA) de acuerdo con el modelo de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos (ICA-NSF). El propósito es determinar si las concentraciones de contaminantes exceden los Límites Máximos Permisibles, evitando así posibles impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente. El ICA proporciona una herramienta para evaluar y comunicar el estado del recurso hídrico.

En esta tesis, se llevó a cabo la determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA) del río Muyurina. Se establecieron cuatro estaciones de muestreo a lo largo del tramo donde se unen los ríos Alameda y Huatatas, formando el río Muyurina. Se realizaron seis muestreos en total: tres durante la época de estiaje y tres durante la temporada de lluvias, considerando la contaminación de origen humano. Las muestras se tomaron en los meses de noviembre y diciembre de 2018, así como en enero, febrero, marzo y abril de 2019.

Los parámetros analizados fueron: DBO₅, STD, Turbidez (NTU), Coliformes Fecales, Nitratos, Oxígeno Disuelto, pH, fosfatos y variación de temperatura; con estos 9 parámetros se calcularon el Índice de Calidad (ICA) para el río Muyurina, para cada estación y los 6 muestreos. Para poder comparar el valor de cada uno de los parámetros y el ICA se realizó la prueba “no paramétrica” de Kruskal - Wallis, en base a las características fisicoquímicas y biológicas y también se empleó los Estándares de Calidad Ambiental

(ECA) para el agua de categoría 3, según D.S. N°004-2017-MINAM. El Índice de Calidad (ICA), para el río Muyurina según cada zona de muestreo resultó: En Rmuyu-01 es 50,29; Rmuyu-02 es 48,64; Rmuyu-03 es 61,40 y de Rmuyu-04 es 65,47. Según la escala del ICA la zona de muestreo Rmuyu-01 y Rmuyu-02 tienen la clasificación de calidad “mala” y las zonas de muestreo Rmuyu-03 y Rmuyu-04 poseen la clasificación de calidad “regular”.

Palabras clave: Río Muyurina, Índice de Calidad de Agua, parámetros de calidad de agua.

Abstract

River water quality is constantly worsening due to the presence of both natural and anthropogenic contaminants. This fact has resulted in an increase in the levels of these contaminants, which has raised the need to quantify and evaluate the quality of these bodies of water. This takes on particular importance given that river water is used extensively in agricultural activities and as a source of human consumption. The present research focuses on evaluating the water quality of the Muyurina River using the Water Quality Index (WQI) according to the model of the National Sanitation Foundation of the United States (ICANSF). The purpose is to determine if contaminant concentrations exceed the Maximum Permissible Limits, thus avoiding possible negative impacts on human health and the environment. The ICA provides a tool to evaluate and communicate the status of the water resource.

In this thesis, the determination of the Water Quality Index (WQI) of the Muyurina River was carried out. Four sampling stations were established along the stretch where the Alameda and Huatatas rivers join, forming the Muyurina River. Six samplings were carried out in total: three during the dry season and three during the rainy season, considering contamination of human origin. The samples were taken in the months of November and December 2018, as well as in January, February, March and April 2019.

The parameters analyzed were: BOD₅, STD, Turbidity (NTU), Fecal Coliforms, Nitrates, Dissolved Oxygen, pH, phosphates and temperature variation; With these 9 parameters, the Quality Index (QI) was calculated for the Muyurina River, for each station and the 6 samples. In order to compare the value of each of the parameters and the AQI, the Kruskal - Wallis “non-parametric” test was carried out, based on the physicochemical and biological characteristics and the Environmental Quality Standards (ECA) for water were also used. category 3, according to D.S. N°004-2017-MINAM. The Quality Index (QI) for

the Muyurina River according to each sampling area resulted: In Rmuyu-01 it is 50.29; Rmuyu-02 is 48.64; Rmuyu-03 is 61.40 and Rmuyu-04 is 65.47. According to the ICA scale, the Rmuyu-01 and Rmuyu-02 sampling areas have the “poor” quality classification and the Rmuyu-03 and Rmuyu-04 sampling areas have the “regular” quality classification.

Keywords: Muyurina River, Water Quality Index, water quality parameters.

Introducción

El agua es una sustancia omnipresente en la naturaleza, abarcando alrededor del 75 % de la superficie terrestre. Aunque parece estar ampliamente disponible, varios factores restringen su disponibilidad para el consumo humano. La mayor parte, alrededor del 97 %, está en los océanos y cuerpos de agua salada, lo que limita su utilidad para diversos fines (AQUAE Fundación, 2014). Del 3 % restante, aproximadamente el 2 % se encuentra repartido en témpanos de hielo, glaciares, en la atmósfera o mezclado con el suelo, lo que lo hace inaccesible. Por lo tanto, para asegurar el desarrollo sostenible de la vida humana, con sus variadas actividades industriales y agrícolas, contamos con solo cerca del 0,62 % del agua restante, la cual se halla en lagos de agua dulce, ríos y acuíferos (Gómez-Gómez, Danglot-Banck, & Vega-Franco, 2011). La mayoría de los ríos de las naciones industrializadas están contaminados en mayor o menor grado, esto conlleva a que la sociedad del mañana no sólo debe hacer frente al desafío de reducir los aportes actuales de contaminantes, sino que también tendrá que restaurar la ecología natural de estos ríos, tendrá que limpiar los suelos y sedimentos de las sustancias químicas que los contaminan para hacer seguro el consumo de agua (Enciclopedia Medioambiental, 2017). En el Perú, los problemas de contaminación ambiental no se limitan únicamente a las principales ciudades y áreas productivas. En la provincia de Huamanga, situada en la región de Ayacucho, preocupa la contaminación del río Muyurina, resultado de las actividades humanas que generan residuos tanto inorgánicos como orgánicos.

La valoración de la calidad del agua es un proceso que implica evaluar sus características químicas, físicas y biológicas en comparación con su estado natural, así como considerar sus efectos en los seres humanos y su uso previsto, como consumo, recreación, irrigación y pesca. Se enfoca especialmente en los usos que podrían impactar la salud de los ecosistemas acuáticos (Gómez & Velosa, 2009). Para facilitar la interpretación de los datos

de monitoreo, se han desarrollado tanto índices de Calidad de Agua (ICA) como Índices de Contaminación (ICO). Estos índices simplifican una amplia gama de parámetros en una expresión fácilmente comprensible para técnicos, administradores ambientales y el público en general. La principal distinción entre ellos radica en cómo evalúan los procesos de contaminación y la cantidad de variables consideradas en la formulación de cada índice respectivo (Gómez & Velosa, 2009).

El Índice de Calidad del Agua (ICA) refleja el nivel de contaminación del agua en el momento del muestreo y se expresa como un porcentaje del agua pura. De este modo, el agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0 %, mientras que, en el agua en excelentes condiciones, el valor del índice estará próximo al 100 %. El Índice de Calidad de Agua por Brown es una adaptación del "WQI", desarrollado por la Fundación de Sanidad Nacional de EE. UU. (NSF). Esta entidad diseñó un índice estándar denominado Water Quality Index (WQI), conocido en español como Índice de Calidad del Agua (ICA), con la finalidad de establecer un sistema que permitiera comparar la calidad de los ríos en diversas ubicaciones del país.

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua disponibles, habiendo sido desarrollado en 1970. Es aplicable para evaluar las variaciones en la calidad a lo largo de distintas secciones del mismo río, así como para compararla con la calidad del agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no. Para la determinación del "ICA" intervienen 9 parámetros, los cuales son: "Coliformes fecales (en NMP/100mL), pH (en unidad de pH), Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO_5 en mg/L), Nitratos (NO_3^- en mg/L), Fosfatos (PO_4^{3-} en mg/L), temperatura ($^{\circ}C$), turbidez (Unidad de Atenuación de Formacina, FAU), Sólidos Disueltos Totales (SDT en mg/L), Oxígeno Disuelto (% saturación).

El río Muyurina atraviesa la provincia de Huamanga, pasando por varias áreas urbanas, y recibe una variedad de efluentes, principalmente debido a actividades humanas. Como resultado, está experimentando contaminación, lo que hace necesario evaluar su calidad utilizando el Índice de Calidad del Agua (ICA). A partir de esta evaluación, se deben tomar decisiones dentro del marco del plan de manejo ambiental para mejorar y conservar la calidad del agua del río Muyurina, con el fin de proteger el entorno. Además, es esencial que la sociedad esté informada sobre si las aguas del río Muyurina representan un riesgo para la salud pública.

Basándonos en lo mencionado anteriormente, esta investigación tiene como objetivo determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA) en la microcuenca del río Muyurina, ubicada en la provincia de Huamanga, Región de Ayacucho. Además, busca proponer medidas para mitigar la contaminación ambiental durante las épocas de estiaje y lluvia en los años 2018 y 2019.

En el primer capítulo, se plantea el problema, se describen los objetivos, las hipótesis y los antecedentes. El segundo capítulo desarrolla el marco teórico, que incluye los antecedentes y las bases teóricas para construir el conocimiento. El tercer capítulo aborda el diseño metodológico. En el cuarto capítulo se presentan la evaluación de resultados y la discusión correspondiente, seguidos de las conclusiones basadas en los objetivos planteados y las recomendaciones derivadas de la investigación.

Capítulo I

Planteamiento Del Problema

1.1. Descripción del problema

Desde que el ser humano ha habitado la Tierra, sus actividades han dejado una huella en el entorno natural. Esta alteración ha causado daños y perturbaciones en la naturaleza desde tiempos antiguos, pero se han vuelto más graves y, en ocasiones, irreversibles a medida que los procesos industriales se intensifican, la población urbana aumenta, la agricultura se moderniza y se introducen numerosas sustancias químicas en el medio ambiente como resultado del desarrollo urbano, agrícola e industrial (Arellano & Guzman, 2011).

El agua es crucial para todas las formas de vida y su disponibilidad está disminuyendo cada vez más. El rápido crecimiento humano y sus actividades han conducido a un uso inadecuado del agua. Investigaciones han revelado que el consumo anual de agua a nivel mundial en la industria ha aumentado significativamente, pasando de alrededor de 725 km³ en 1995 a aproximadamente 1 170 km³ en 2025. Esto representa cerca del 24 % del consumo total de agua dulce disponible en el mundo. Este aumento será especialmente notorio en los países en desarrollo que están experimentando un crecimiento industrial acelerado, como ha sido el caso en América Latina. Aunque las industrias consumen grandes cantidades de agua en sus procesos, también generan aguas residuales (UNESCO, 2016).

Los ríos, como cuerpos de agua superficiales, se caracterizan por su flujo natural desde zonas elevadas hacia áreas más bajas. La mayoría desemboca en el mar o en lagos, aunque algunos se pueden perder debido a la filtración en el suelo o la evaporación atmosférica. Representan una fuente crucial de agua para actividades agrícolas y domésticas. Sin embargo, en años recientes, los ríos han experimentado los efectos negativos de la contaminación (Enciclopedia Medioambiental, 2017).

Entre 1991 y 1992, se realizaron varios estudios en varios estados de los Estados Unidos para evaluar la calidad de diversos cuerpos de agua, como ríos, lagos y lagunas, en términos de contaminación. Estas investigaciones revelaron que el 40% de las aguas analizadas no cumplían con los estándares de calidad necesarios para actividades como la pesca o la natación. De hecho, se descubrió que más del 10% de las fuentes de agua potable en esa nación estaban gravemente contaminadas (Arellano & Guzman, 2011).

En el Perú, la principal causa de contaminación del agua es la descarga doméstica, que contiene una gran cantidad de parásitos y organismos patógenos. Además, la contaminación se origina en los relaves mineros, que liberan directamente impurezas como cobre, plomo, zinc, hierro y plata en los ríos. Los procesos industriales también contribuyen a la contaminación al verter sustancias tóxicas en los cauces de los ríos o quebradas. Esta alteración en la calidad del agua conduce a la formación de costras en los suelos, alteraciones en el pH y una disminución en la velocidad de infiltración y oxigenación de la capa arable. Además, el uso de biocidas para el control de plagas y enfermedades agrava este efecto al favorecer la fijación de contaminantes en el suelo.

En casos múltiples la desaparición de la fauna hidrobiológica de los ríos, de la costa, principalmente, es debido a la infestación de los cauces de ríos de contaminantes, como ha sucedido en la región sur del país, en el caso de la desaparición del camarón del río Locumba, debido a la deposición de relaves mineros que realiza la Southern Perú Cooper Corporation, producto de sus operaciones mineras de Toquepala y Cuajone. En este sentido como vemos es alarmante los efectos en cadena a largo plazo que ocurrirá sobre la salud pública, las aguas subterráneas, los recursos hidrobiológicos y el riego (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2015).

En síntesis, se puede señalar que el problema de la disminución de los caudales de los ríos y la contaminación de sus aguas requiere urgentes medidas para el control; y siendo necesario en principio evaluar su calidad.

El río Muyurina es considerada como tramo importante de la cuenca de Huamanga, ya que contribuye al desarrollo de la agricultura en el valle que lleva el mismo nombre y no es ajeno a la contaminación debido principalmente a actividades antropogénicas ya que atraviesa distintas áreas pobladas e igualmente siendo receptor de una serie de efluentes. Ante este escenario existe la necesidad de evaluación de su calidad. Por ello, en la presente investigación se planteó determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA) de la microcuenca del río Muyurina de la provincia de Huamanga de la región de Ayacucho y proponer la mejora para mitigar la contaminación ambiental en época de estiaje y lluvia.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema principal

¿Cuál es el Índice de Calidad del Agua (ICA) de la microcuenca del río Muyurina de la provincia de Huamanga de la Región de Ayacucho y la propuesta de mejora para mitigar la contaminación ambiental, Huamanga-Ayacucho 2018 y 2019?

1.2.2. Problemas secundarios

¿Cuáles son los valores de los parámetros que determinan el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Muyurina?

¿Cuál es la escala del Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Muyurina?

¿Cuál es la propuesta de mejora para el ICA del río Muyurina?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA) de la microcuenca del río Muyurina de la provincia de Huamanga de la región de Ayacucho y presentar propuesta de mejora para mitigar la contaminación ambiental, Huamanga-Ayacucho 2018 y 2019.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar los valores de los parámetros que determinan el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Muyurina.

Establecer la escala de los Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Muyurina.

Presentar una propuesta de mejora para el ICA del río Muyurina.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El Índice de Calidad del Agua (ICA) de la microcuenca del río Muyurina tiene la clasificación de mala calidad en el año 2018 y 2019 por lo que es necesario una propuesta de mejora.

1.4.2. Hipótesis específicas

La evaluación de los parámetros que determinan el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Muyurina sobrepasan los ECA – Agua.

La escala de los Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Muyurina es mala.

La propuesta de mejora para el ICA del río Muyurina proporcionará alcances que ayudaría en la toma de acciones de la autoridad correspondiente.

1.5. Justificación

Las aguas del río Muyurina en el departamento de Ayacucho, específicamente en la provincia de Huamanga, que incluye los distritos de Andrés Avelino Cáceres de Dorregaray, Tambillo y Jesús Nazareno, podrían estar contaminadas debido a la descarga de diversos

efluentes líquidos, como los provenientes del lavado de vehículos, lavanderías, alcantarillas, actividades ganaderas y residuos sólidos, así como los efluentes de la Planta de Tratamiento de Totorilla, entre otros. Hasta la fecha, no se ha realizado un estudio sobre la calidad del agua del río Muyurina que aplique el método del Índice de Calidad del Agua (ICA) en la microcuenca correspondiente.

El objetivo de este estudio es analizar la calidad del agua del río Muyurina mediante el uso del Índice de Calidad del Agua (ICA), conforme a los procedimientos establecidos. Se pretende verificar si los niveles de contaminación exceden los límites máximos permitidos, con el fin de prevenir cualquier efecto adverso en la salud humana y el entorno ambiental. El estudio reviste gran importancia debido al problema ambiental y de salud asociado a la contaminación del agua de los ríos, ya que estos son una fuente vital para actividades agropecuarias y el consumo humano.

Según la Norma ISO 14000, se entiende el medio ambiente como el entorno en el que una organización opera, incluyendo el aire, el agua, el suelo, los recursos naturales, los seres humanos, la fauna, la flora y sus interacciones. Esta definición subraya la importancia de la conservación ambiental para todos, dado que cada elemento está interrelacionado; la calidad del agua no puede ser óptima si está contaminada por la actividad humana, y la salud humana se ve perjudicada por aguas contaminadas. Por consiguiente, es responsabilidad del ser humano, como agente racional, prevenir y controlar la contaminación ambiental, ya que es el principal agente de transformación del entorno.

Por lo tanto, resulta fundamental evaluar la calidad del agua del río Muyurina en Ayacucho, teniendo en cuenta especialmente las actividades humanas que pueden afectar negativamente sus aguas. A partir de estos impactos, deben implementarse acciones en el plan de manejo ambiental para conservar la calidad del agua del río Muyurina y salvaguardar

el entorno. Además, es crucial que la sociedad esté al tanto de si las aguas del río Muyurina constituyen un riesgo para la salud pública.

1.6. Delimitación del problema

1.6.1. Delimitación espacial

La investigación se desarrolló con la siguiente delimitación espacial.

| | | |
|-----------|---|--|
| Distritos | : | Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Tambillo y Jesús Nazareno . |
| Provincia | : | Huamanga |
| Región | : | Ayacucho |

Las estaciones de muestreo se seleccionaron siguiendo el “protocolo de monitoreo de aguas superficiales” establecido por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Estación de muestreo 1

Se posicionó a 100 metros río abajo desde la confluencia de los ríos Alameda y Huatatas.

Estación de muestreo 2

Se estableció a una distancia de 1325 metros de la primera estación, en el Centro Poblado de Viña Chiquita.

Estación de muestreo 3

Se encuentra ubicada entre los Centros Poblados de Rumichaca Baja y frente al Centro Poblado Viña Chiquita, a una distancia de 790 metros río abajo desde la segunda estación de muestreo.

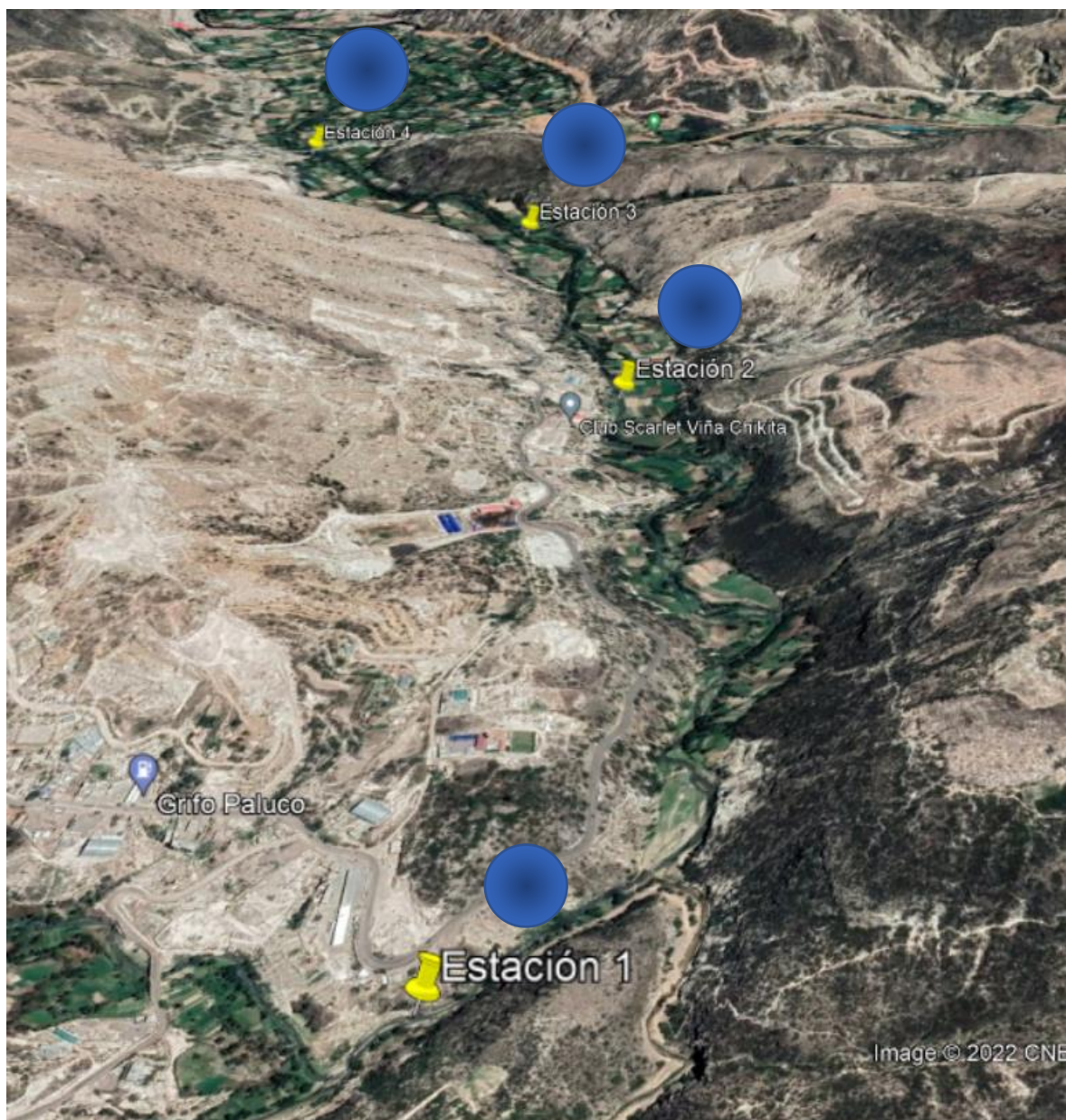
Estación de muestreo 4

Está posicionada a 100 metros antes del puente del río Muyurina, en el punto de encuentro de los ríos Muyurina y Niño Yucaes, a una distancia de 748 metros río abajo desde la tercera estación de muestreo.

Las muestras fueron analizadas tanto en el laboratorio de control de calidad de la PTAR Totorá como en el laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad de San Cristóbal de Huamanga.

Figura 1

Ubicación de las estaciones de muestreo



1.6.2. Delimitación temporal

El periodo de evaluación para la investigación incluyó las estaciones seca y lluviosa durante los años 2018 y 2019.

Se establecieron 4 estaciones de muestreo a lo largo del río Muyurina. En total, se llevaron a cabo seis muestreos. Tres muestreos durante la estación seca (noviembre, diciembre de 2018 y enero de 2019). Tres muestreos durante la estación lluviosa (febrero, marzo y abril de 2019).

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. *Internacional*

Según Chávez (2006) en su tesis: EVALUACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CAZONES EN COATZINTLA, desarrollado por Chávez Martínez, Luz Nalleli; en la Universidad Veracruzana, México, el año 2015. El resumen es el siguiente:

El objetivo de este estudio fue analizar la calidad del agua del río Cazonos tanto en términos espaciales como temporales, con el propósito de generar información relevante para guiar la toma de decisiones en la gestión y restauración del río. Para esta evaluación, se empleó el índice de Brown-NFS, el cual considera nueve parámetros: temperatura, pH, nitratos, oxígeno disuelto, fosfatos, coliformes fecales, turbidez, sólidos disueltos totales y demanda bioquímica de oxígeno. Se llevó a cabo un seguimiento de la calidad del agua del río Cazonos en tres estaciones de monitoreo ubicadas en el municipio de Coatzintla durante un período anual, desde abril de 2013 hasta marzo de 2014. Durante este tiempo, el río mostró un índice promedio de 63.94, indicando que tiene una calidad media según lo establecido por el índice de calidad de Brown - NSF. Además, se observaron diferencias significativas en el índice de calidad tanto entre las estaciones monitoreadas como entre las estaciones climáticas. Los sólidos disueltos totales, la turbidez y los coliformes fecales se identificaron como los parámetros con mayor influencia en la calidad del agua.

Según Alvarez et al. (2006) en su investigación: ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO AMAJAC, HIDALGO, MÉXICO: DIAGNÓSTICO Y

PREDICCIÓN, desarrollado por Amado-Álvarez, Jesús y colaboradores, el año 2006. El resumen es el siguiente:

El objetivo de la investigación fue valorar el índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac. La metodología empleada se enfocó en la evaluación cuantitativa de la calidad del agua. Se llevaron a cabo tres rondas de muestreo entre 2005 y 2006, durante las cuales se analizaron diversos parámetros, como oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fósforo total, turbidez y sólidos totales disueltos. Para predecir el índice integral de calidad del agua (ICA), se efectuó un análisis de regresión múltiple entre el ICA y los ocho parámetros mencionados. Después de esto, se observaron los patrones de comportamiento y se establecieron modelos matemáticos para cada variable. Los resultados revelan que dentro de la cuenca del río Amajac, el 29 % de los puntos de muestreo exhibieron una calidad de agua calificada como Media (ICA = 50-69) para usos urbanos, consumo humano, piscícola y agrícola. Por otro lado, el 59 % de las ubicaciones mostraron una calidad de agua considerada como Mala (ICA = 30-49), mientras que el 12 % de los sitios se consideraron altamente contaminados (ICA < 30). Los modelos cuadráticos y cúbicos demostraron ser los más adecuados para ajustar los parámetros analizados.

Según Gómez & Cochero (2013) en su tesis: UN ÍNDICE PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL HÁBITAT EN LA FRANJA COSTERA SUR DEL RÍO DE LA PLATA Y SU VINCULACIÓN CON OTROS INDICADORES AMBIENTALES, desarrollado por Gómez, NoraI y Cochero, Joaquin, el año 2013. El resumen es el siguiente:

El propósito de la investigación consistió en establecer un método para valorar la calidad del hábitat en la Franja Costera Sur del Río de la Plata. Se recabó información de 21 ubicaciones de muestreo visitadas entre los años 2005 y 2008, la cual fue

resumida y condensada en un indicador llamado Índice del Hábitat para el Río de la Plata (IHRPlata). Este índice se calculó evaluando cuatro aspectos principales: 1) la secuencia espacial de la vegetación en la costa, 2) las alteraciones costeras derivadas de la introducción de infraestructuras, 3) la presencia de residuos en la línea costera y 4) los indicadores biológicos de falta de oxígeno. Según los valores obtenidos del IHRPlata, el 32 % de los casos analizados mostraron una calidad de hábitat muy buena, el 20 % buena, el 24 % moderada, el 18 % mala y el 6 % muy mala. Estos valores del índice se correlacionaron significativamente con parámetros relacionados con la calidad del agua y con indicadores de la calidad biótica, lo que refuerza su utilidad para evaluar la calidad del hábitat costero.

2.1.2. Nacional

Según Teves (2016) en su tesis: ESTUDIO FÍSICOQUÍMICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CACRA, REGIÓN LIMA, desarrollado por Teves Aguirre, Betty Mercedes; en la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, el año 2016. El resumen es el siguiente:

El propósito de esta investigación fue realizar un análisis físicoquímico del agua del río Cakra, parte de la cuenca hidrográfica del río Cañete en la provincia de Yauyos, Región Lima - Perú. El objetivo era determinar la calidad del agua utilizada para el riego de cultivos agrícolas y para el suministro de agua a animales en una zona caracterizada por su extrema pobreza. El monitoreo se llevó a cabo en dos períodos, en mayo y julio de 2015, durante las temporadas de lluvia y sequía, respectivamente, con seis estaciones de muestreo establecidas. Se realizaron mediciones in situ y se recolectaron muestras para análisis posterior en el laboratorio. Los parámetros evaluados incluyeron temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH en el campo, y una variedad de parámetros en el laboratorio, utilizando técnicas como

espectroscopías UV-Visible y de absorción atómica (AAS). Los resultados mostraron que los parámetros evaluados en el río Caca cumplían con los estándares nacionales de calidad ambiental para el riego de vegetales y para el consumo de animales. Sin embargo, el río Paluche, uno de sus afluentes, presentaba valores que excedían los límites establecidos para fosfatos, hierro y pH. Se sugiere que el río Lincha tiene un impacto en la calidad del agua del río Caca

De acuerdo a Jimenez y Llico (2020) en su investigación: **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO MUYOC, APLICANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA, CAJAMARCA 2019**, desarrollado por Jiménez Cotrina, Jhon Abner y Llico Portal, Merly Evellin; en la Universidad Privada del Norte, Lima, el año 2020. El resumen es el siguiente:

El propósito de este estudio fue examinar la calidad del agua del río Muyoc utilizando el Índice de Calidad del Agua (ICA) de Perú, que abarca parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Durante los monitoreos, se identificaron tres puntos de muestreo: P1 en la cabecera de la cuenca, P2 en la parte media y P3 en la parte baja. El objetivo era determinar si el agua era adecuada para el riego de cultivos y el consumo animal. Los resultados del primer monitoreo revelaron que los niveles de cloruros ($M1=9217,78$; $M2=7090,6$; $M3=7799,6$) y el pH ($M1=4,5$; $M2=4,03$; $M3=4,3$) superaban los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el agua. En el segundo análisis, ninguno de los parámetros excedía los límites del ECA. Sin embargo, según el ICA-PE, la calidad del agua en el primer monitoreo durante la época de estiaje se clasificó como BUENA, mientras que en el segundo monitoreo durante la época de lluvias se consideró EXCELENTE (Jimenez & Llico, 2020).

Según Pérez (2017) en su tesis: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO MOQUEGUA POR INFLUENCIA DEL VERTIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES OMO, DURANTE EL PERIODO 2014-2015, desarrollado por Pérez Alvarado, Julisa Katerine; en la Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, el año 2017. El resumen es el siguiente:

El propósito principal de este estudio es evaluar el índice de calidad del agua del río Moquegua, afectado por el vertido de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Omo, durante el período 2014-2015. Este índice busca categorizar la calidad del agua en una escala del 0 al 100, clasificándola como excelente, buena, media, mala o muy mala. Para llevar a cabo esta evaluación, se utilizó el Indicador ICA NFS, que considera nueve parámetros: temperatura, pH, nitratos, oxígeno disuelto, fosfatos, coliformes fecales, turbidez, sólidos disueltos totales y demanda bioquímica de oxígeno. La metodología implicó el análisis de los datos correspondientes a los años 2014 y 2015 proporcionados por la administración local del agua Moquegua, la entidad prestadora de servicios, la gerencia regional de salud y el proyecto especial regional Pasto Grande. A partir de estos resultados, se calculó el índice de calidad de Brown-NSF, que reveló un ICA-NSF de 51.44 para el tramo del río Moquegua previo al vertido, indicando una calidad media, y un ICA-NSF de 44.18 para el tramo posterior al vertido, señalando una calidad mala. Los análisis realizados durante los años 2014 y 2015, tanto antes como después del vertido de la planta de tratamiento de aguas residuales, superaron los estándares de calidad ambiental con la categoría 3 en los parámetros de pH, fosfatos, DBO5, oxígeno disuelto y coliformes termotolerantes. Los demás parámetros evaluados se mantuvieron dentro de los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua.

2.1.3. *Local*

Según Alcarraz et al. (2013) en su investigación: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO YUCAES, AYACUCHO – 2013, desarrollado por Alcarraz Alfaro, Tarcila; Barboza Palomino, Gloria Inés; Córdova Miranda, Alcira; en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el año 2013. El resumen es el siguiente:

El propósito fue determinar las características fisicoquímicas y el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Yucaes, para lo cual se establecieron cuatro estaciones de muestreo en el tramo de la comunidad de Muyurina. Esto se realizó considerando la contaminación proveniente de actividades antropogénicas y la confluencia con el río Muyurina, que aparentemente está más contaminado. Los meses de muestreo fueron mayo, agosto, octubre y diciembre del año 2013, abarcando tanto temporadas de sequía como de lluvia. Los parámetros evaluados incluyeron pH, temperatura, conductividad y turbidez, los cuales se midieron in situ con equipos portátiles en los lugares de muestreo. Además, se determinaron la alcalinidad, acidez, cloruros y dureza mediante análisis químicos volumétricos. Los sólidos totales y los sólidos suspendidos se determinaron mediante el método gravimétrico, mientras que nitratos, nitritos, fosfatos, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) se analizaron mediante espectrofotometría UV-Visible y el método Winkler, respectivamente. Con estos ocho parámetros se calculó el Índice de Calidad del Agua (ICA) para cada estación y mes de muestreo. Las características fisicoquímicas del agua del río Yucaes determinadas durante este estudio se encontraron dentro de los estándares de calidad para riego de vegetales y bebida de animales, según las normativas publicadas en el diario El Peruano en julio de 2008. Además, el ICA para el río Yucaes mostró una calidad buena antes de la

confluencia. Estos resultados sugieren que la investigación realizada constituye un aporte significativo para las autoridades y los usuarios, incluyendo agricultores, consumidores y el público en general que frecuenta el valle de Muyurina.

De acuerdo con Arones et al. (2018) en la investigación: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO HUATATAS, APLICANDO EL ICA, REGIÓN AYACUCHO, desarrollado por Arones Medina, Edgar G.; Veliz Flores, Raúl R.; Palomino Malpartida, Ybar G.; en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el año 2013. El resumen es el siguiente:

El objetivo de esta investigación fue determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Huatatas en la región de Ayacucho durante el año 2017, mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Se establecieron cuatro estaciones de muestreo a lo largo del río, desde la parte alta hasta la parte baja antes de su confluencia con el río Alameda. El área de estudio abarca una altitud que varía entre 2 724 y 2 552 m.s.n.m., cubriendo un tramo de aproximadamente 5,40 km, y las ubicaciones de muestreo se determinaron utilizando un equipo GPS. Este estudio se inscribe en una investigación básica de nivel descriptivo y un diseño no experimental. Se recolectaron muestras durante el año 2017 en cada una de las estaciones de muestreo, en cuatro ocasiones, durante las temporadas de estiaje y lluvias. Los parámetros medidos en el campo incluyeron temperatura del agua, pH, conductividad, oxígeno disuelto (%), salinidad, sólidos disueltos totales y presión, utilizando el equipo multiparámetro HI 9828; mientras que la turbidez se midió con un turbidímetro y la temperatura ambiental con un termómetro. Los parámetros de fosfatos, nitratos, DBO y coliformes fecales se analizaron en laboratorios de la UNSCH. La calidad del agua en la microcuenca del río Huatatas en la región de Ayacucho, evaluada mediante el método del Índice de Calidad del Agua (ICA)

durante el año 2017, se clasifica como buena en la parte alta (RHuat-01) durante las temporadas de estiaje y lluvias. En las otras estaciones, varía de regular a buena, mostrando un leve deterioro a medida que avanza hacia la estación RHuat-03.

Según Espinoza (2015) en su tesis: *CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DEL RÍO ALAMEDA Y TIPIFICACIÓN SEGÚN ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA, AYACUCHO 2014*, desarrollado por Espinoza Tacuri, Marco Antonio.; en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el año 2013. El resumen es el siguiente:

El objetivo principal de este estudio fue caracterizar las aguas del río Alameda y evaluar su calidad utilizando el índice de calidad del agua de la Fundación de Sanidad Nacional (WQI - NSF) en las siete zonas de muestreo del río Alameda, ubicado en Ayacucho. Para esto, se determinaron varios parámetros a lo largo de un año, desde enero hasta diciembre de 2014, que incluyeron oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua, sólidos totales disueltos, turbidez, nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales. Los datos recolectados se analizaron utilizando el programa estadístico SPSS 23.0 para calcular la media y la desviación estándar anual para cada zona de muestreo y para cada parámetro. Posteriormente, con estos valores, se determinó el Índice de Calidad del Agua de la Fundación de la Sanidad Nacional (WQI - NSF) para cada zona de muestreo mediante el programa ICATest V.1.0. El análisis de los datos revela que la calidad del agua del río Alameda tiende a disminuir a lo largo de su curso, pasando de buena a mala según el WQI – NSF. En cuanto a la similitud entre las zonas de muestreo, se observa que al considerar un 60 % de similitud en base a las características fisicoquímicas y biológicas, se forman cuatro conglomerados. Detalladamente, el primero está representado por la zona I, con valores típicos de aguas no contaminadas; el segundo conglomerado está conformado por las zonas II, III y IV, características de aguas medianamente contaminadas; el

tercer conglomerado lo componen las zonas V y VI, que presentan características de aguas contaminadas; y finalmente, el cuarto conglomerado está representado por la zona VII, propia de aguas muy contaminadas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El agua y el mundo

El agua fluye naturalmente a través de los océanos, la atmósfera, los glaciares y las aguas subterráneas. Tanto el agua como el aire son elementos móviles que están presentes en la Tierra. Se denomina ciclo planetario del agua al constante movimiento del agua desde los océanos hacia la atmósfera y su posterior regreso a la Tierra (Aretxabala, 2015).

A continuación, se presentan valores estimados para describir la disponibilidad de agua en el mundo en la siguiente tabla.

Tabla 1

Distribución del agua en la tierra

| Situación del Agua | Volumen en km ³ | Porcentaje | |
|--------------------------------------|----------------------------|------------|------------|
| | | Agua dulce | Agua total |
| Océanos y mares | 1 338x10 ⁶ | - | 96,5 |
| Casquetes y glaciares polares | 24 064 000 | 68,7 | 1,74 |
| Agua subterránea salada | 12 870 x10 ³ | - | 0,94 |
| Agua subterránea dulce | 10 530x10 ³ | 30,1 | 0,76 |
| Glaciares continentales y permafrost | 300 000 | 0,86 | 0,022 |
| Lagos de agua dulce | 91 000 | 0,26 | 0,007 |
| Lagos de agua salada | 85 400 | - | 0,006 |
| Ríos | 2 120 | 0,006 | 0,0002 |
| Agua biológica | 1 120 | 0,003 | 0,0001 |
| Agua de pantano | 11 470 | 0,03 | 0,0008 |
| Atmosfera | 12 900 | 0,04 | 0,001 |
| Total | 1 386x10 ⁶ | - | 100 |

Fuente: (Departamento General de Irrigación [DGI], 2016)

2.2.2. Disponibilidad y calidad del recurso agua

El suministro de recursos de agua fácilmente accesibles está limitado actualmente a nivel mundial. Considerando que no toda el agua puede ser utilizada, sino que una parte de las aguas superficiales debe ser dejada en los ríos para salvaguardar el medio ambiente, más de la mitad de la esorrentía accesible está ya comprometida. En las regiones áridas y semiáridas, en países densamente poblados y en la mayoría del mundo industrializado, existe una competencia por los escasos recursos de agua (Departamento General de Irrigación [DGI], 2016).

Una visión a nivel mundial de la disponibilidad de agua y de las demandas proyectadas indica preocupaciones específicas de las regiones. Virtualmente todos los países con un territorio árido como aquellos del Medio Oriente y África del Norte, ya son netos importadores de alimentos. La prioridad del uso del agua en estos países será asegurar abastecimientos adecuados para las ciudades y para una economía sana en los sectores industrial y de servicios, para ganar los fondos requeridos para la importación de alimentos. Debido al valor del agua por su escasez, estas regiones no podrán tener industrias que requieren gran cantidad de agua. El sector agrícola, en países áridos con escasez de agua, está obligado a depender más y más de la disponibilidad de aguas servidas de las ciudades y a especializarse en la producción de cultivos que tienen alta productividad económica, tales como las verduras y las frutas (Barranquero, 2010).

América Latina tiene abundantes fuentes de agua, aunque existen grandes diferencias entre las diferentes regiones de este continente. Los problemas de agua en América Latina se relacionan principalmente a:

(i) una baja eficiencia de uso

La mayoría de los distritos de riego de América Latina tiene una eficiencia de alrededor de 30 a 40 % en riego por gravedad, la cual, en algunos casos, es aún menor.

(ii) gestión de los recursos de agua

Especialmente a nivel de cuenca hidrográfica y en particular a nivel de sistemas de riego. La gestión del recurso agua debe considerar aspectos ambientales y los diversos usos que se le puede asignar, como para bebida e higiene personal, acuicultura, agrícola, navegación, producción industrial, enfriamiento de plantas generadoras de energía, generación de energía por caída y con fines de recreación;

(iii) degradación del medio ambiente

Las partes bajas de los valles irrigados están degradados por salinización y los relaves de las explotaciones mineras contaminan los suelos y las aguas superficiales y subterráneas;

(iv) control de la contaminación

El principio "quien contamina, paga" no se cumple en muchos países (Sierra, 2011).

2.2.3. Escasez del agua

En este contexto, la escasez de agua se refiere a la discrepancia entre la cantidad de agua dulce disponible y la demanda expresada en una región determinada. Esto tiene en cuenta aspectos institucionales como la fijación del precio del recurso y los costos asociados para el consumidor, así como las condiciones de infraestructura existentes (Sierra, 2011).

Según Sierra (2011), “la falta de agua ocurre cuando la demanda del recurso excede su disponibilidad, lo que resulta en una demanda insatisfecha, tensiones entre usuarios, competencia por el agua, sobreexplotación de los acuíferos y flujos inadecuados hacia el entorno natural”.

Desabastecimiento de agua

Sierra (2011) refiere a “la carencia de agua de calidad aceptable, debido a recursos hídricos insuficientes, falta de infraestructura o mantenimiento inadecuado, la escasez de recursos hídricos debido a variaciones estacionales o anuales en el clima, y otros factores hidrológicos o hidrogeológicos”.

Estrés hídrico

El término "estrés hídrico" describe los signos vinculados a la escasez o falta de agua, como el incremento de la competencia y los conflictos entre usuarios, el deterioro en la calidad y la confiabilidad del servicio, la pérdida de cosechas y la inseguridad alimentaria. Este concepto engloba una variedad extensa de circunstancias y razones (Sierra, 2011).

2.2.4. Principales aspectos de la escasez del agua

Las causas de escasez, pueden variar en naturaleza, lo que requiere respuestas específicas. La evaluación exhaustiva de la gestión del agua en la agricultura indica que la escasez de agua es una limitación crítica para la agricultura en numerosas partes del mundo. Basándose en el trabajo previo de Seckler et al. (1998), se distinguen dos tipos principales de escasez de agua: la escasez física y la escasez económica. La escasez física ocurre cuando no hay suficiente agua para satisfacer todas las demandas, incluyendo los caudales ecológicos. Los indicadores de escasez física abarcan la degradación severa del medio ambiente, la disminución del nivel de aguas subterráneas y la distribución desigual del agua que favorece a ciertos grupos sobre otros. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013).

La escasez económica de agua se deriva de la falta de inversión en recursos hídricos o de la incapacidad humana para cubrir la demanda. Los signos de esta escasez abarcan desde el subdesarrollo de infraestructuras, tanto a pequeña como a gran escala, lo que dificulta el acceso al agua potable o para la agricultura. Aunque haya infraestructuras adecuadas, la distribución del agua puede ser desigual. En muchas partes de África subsahariana, esta forma de escasez es común, lo que subraya la necesidad de una gestión más eficaz del agua para abordar la pobreza (FAO, 2013). Se resaltan tres aspectos principales de la escasez de agua, que pueden describirse de la siguiente manera:

- La falta de disponibilidad de agua de calidad aceptable en comparación con la demanda total, que se manifiesta en casos simples de escasez física de agua. ;
- La escasez ocasionada por la ausencia de infraestructuras adecuadas, sin importar el nivel de recursos hídricos disponibles, debido a limitaciones financieras, técnicas u otras;
- La dificultad en el acceso a servicios hídricos, causada por el fracaso de las instituciones responsables (incluidos los derechos legales) en garantizar un suministro de agua fiable, seguro y equitativo para los usuarios. Este aspecto aborda los elementos organizativos y de rendición de cuentas propuestos por el Banco Mundial (FAO, 2013).

2.2.5. Agua dulce

Toda cosa viviente en la Tierra depende del agua. Nosotros, los seres humanos mismos, que consistimos de 60 % de agua, no podemos sobrevivir por más de cinco días sin ella. No se trata simplemente de la cantidad que necesitamos beber. La producción de alimentos da cuenta de más de dos tercios de los retiros de agua dulce del mundo (Programa de las Naciones Unidas [PNUMA], 2015).

Inevitablemente, a medida que la población humana continúa creciendo y trabajamos para asegurar que todos los habitantes del mundo tengan suficiente para comer y beber —y tengan acceso a saneamiento— el uso de agua está aumentando. Según la publicación del PNUMA Perspectivas del Medio Ambiente Mundial 5 (GEO5), a través de los últimos 50 años los retiros de agua se han multiplicado por tres (PNUMA, 2015).

En nuestro planeta azul: 70 % de superficie es agua — pero la mayor parte en el océano. Apenas 2,5 % de toda el agua del mundo es agua dulce, y de ésta, casi 80% está encerrada en capas de hielo y glaciares, y la mayor parte del resto se encuentra bajo tierra,

en suelos y rocas. Apenas 1 % de toda el agua sobre la Tierra está a fácil disposición para nuestro uso y de todas las demás criaturas que comporten nuestro mundo (PNUMA, 2015).

Pero la cantidad de agua dulce en el mundo es más o menos fija, de modo que debemos valorar lo que tenemos y preservar los ecosistemas que ayudan a manejar su suministro. Esto comprende los bosques del mundo, que aumentan la absorción de agua de los suelos y una escorrentía lenta, además de ayudar a regular la lluvia y la evaporación. Comprende conservar nuestros sistemas fluviales y sus llanuras aluviales y humedales asociados, vitales para mantener las corrientes de agua naturales. Y también significa reducir la cantidad de contaminación que creemos que simplemente podemos quitar con agua (PNUMA, 2015).

2.2.6. Molécula de agua

Líquido incoloro, prácticamente inodoro e insípido, es esencial para la vida animal y vegetal y uno de los disolventes más utilizados. Su punto de fusión es de 0 °C (32 °F), su punto de ebullición es de 100 °C (200 °F), su gravedad específica a 4 °C es de 1,0 y su peso por galón a 15 °C es de 8,337 libras (Jenkins, 2004).

Según Concha (2014):

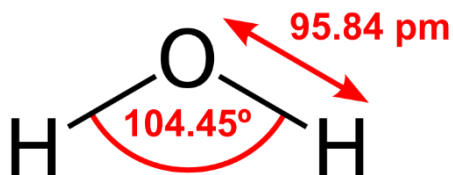
El agua está formada por 2 átomos de hidrógeno unidos a un átomo de oxígeno mediante enlaces covalentes, compartiendo un par de electrones. Debido a que el oxígeno es más electronegativo que el hidrógeno, el par electrónico del enlace se sitúa más cerca del oxígeno, lo que da lugar a la polaridad del enlace. La molécula de agua adopta una estructura angular, con un ángulo de enlace de 105°. Esta configuración le otorga a la molécula de agua un carácter dipolar, presentando el oxígeno una carga negativa y los hidrógenos una carga positiva. La polaridad de las moléculas de agua genera una atracción mutua entre ellas, produciendo una interacción molecular denominada puente de hidrógeno o enlace puente de

hidrógeno, donde el polo positivo de una molécula se une al polo negativo de otra.

Desde una perspectiva química, el agua se considera un compuesto fundamental.

Figura 2

Representación de la molécula de agua



Fuente: (Monografias, 2014)

El agua es esencial para la vida; todos los seres vivos requieren de ella. Constituye aproximadamente el 70% de nuestro peso corporal y alcanza hasta el 98% en las algas. Requerimos agua para funciones vitales como la respiración, lubricación de los ojos, desintoxicación del cuerpo y regulación de la temperatura corporal. Es por ello que, aunque una persona puede sobrevivir sin comida durante más de dos semanas, solo puede durar tres o cuatro días sin agua. Las plantas, asimismo, no podrían producir alimentos ni crecer sin agua. Además, el agua regula la temperatura en los seres vivos y en toda la biosfera debido a su alta capacidad calorífica, lo que significa que su temperatura cambia más lentamente con respecto a otros líquidos.

Concha (2014) enuncia que:

El agua es denominada el "disolvente universal" gracias a su capacidad para disolver una amplia variedad de sustancias. Esta característica se debe a su capacidad para establecer puentes de hidrógeno con otras moléculas, permitiendo que las sustancias polares se disuelvan al interactuar con las moléculas polares del agua. La capacidad disolvente del agua cumple dos funciones esenciales para los seres vivos: sirve como el medio donde ocurre la mayoría de las reacciones metabólicas y facilita el transporte de nutrientes y la eliminación de desechos a través de sistemas de

transporte acuosos. Además, conforme aumenta la temperatura, la solubilidad en el agua también aumenta. El agua también exhibe un alta constante dieléctrica, lo que la convierte en un excelente disolvente para compuestos iónicos, como las sales minerales, y para compuestos covalentes polares, como los glúcidos. Debido a que las moléculas de agua son polares, se organizan alrededor de los grupos polares del soluto, lo que resulta en la separación de los compuestos iónicos en aniones y cationes, quedando rodeados por moléculas de agua. Este fenómeno se conoce como solvatación iónica. Sin embargo, el agua no puede disolver todas las sustancias, como las grasas, aceites, celulosa, metales nobles, cuarzo y una variedad de materiales con diferentes características.

2.2.7. Características físicas y químicas del agua

Marin (2008) afirma:

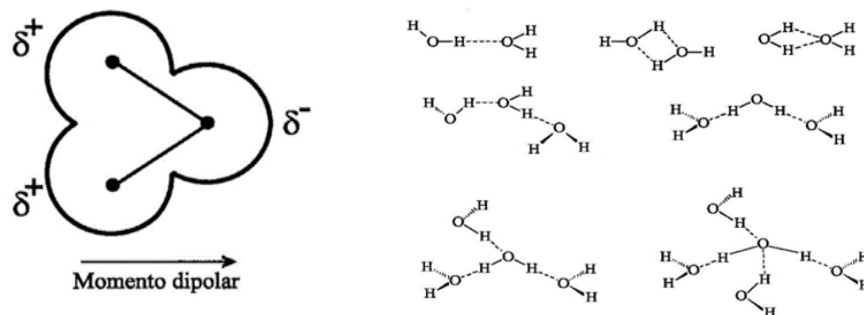
El agua se encuentra en tres estados en nuestro planeta: líquido, sólido y gaseoso. Se estima que hay alrededor de 1 400 millones de km³ de agua en la Tierra, de los cuales solo el 3 % es agua dulce. El suministro global de agua en la Tierra, que ha sido constante durante miles de millones de años, está regulada por el "Ciclo Hidrológico". Este ciclo implica una serie de cambios de fase, que abarcan aspectos físicos, químicos y microbiológicos, así como movimientos físicos entre diferentes lugares como mares, nubes, glaciares, ríos y aguas subterráneas. Su efecto final es la renovación periódica de las reservas de agua en las principales acumulaciones del planeta, que incluyen océanos, ríos y lagos, así como en la atmósfera y la litosfera. El motor detrás del "Ciclo Hidrológico" es la radiación solar recibida por la Tierra, que provoca la evaporación del agua desde la superficie de los océanos y mares hacia la atmósfera (Marín, 2008).

El consumo humano de agua varía según la región del planeta, desde menos de 10 litros por día per cápita en los países subdesarrollados hasta aproximadamente 100 veces más en las regiones industrializadas. El hombre utiliza el agua para diversas finalidades:

- Bebida y preparación de alimentos.
- Riego agrícola y actividades ganaderas.
- Procesos industriales, incluyendo refrigeración y otros procedimientos.
- Transporte marítimo y fluvial, así como comercio relacionado.
- Actividades recreativas y deportivas.
- Eliminación de desechos y vertidos varios.
- Generación de energía hidroeléctrica, termoeléctrica, entre otros usos.

Figura 3

Asociaciones de moléculas de agua



Fuente: (Marín, 2008)

El agua en su estado líquido parece estar formada por conjuntos de moléculas que pueden contener de 2 a 12 unidades de H_2O , exhibiendo una estructura tridimensional que varía. En contraste, el hielo se compone de una mezcla de cuatro isómeros distintos, cada uno compuesto por un número variable de moléculas y con estructuras diferentes (Marín, 2008).

2.2.8. Calidad del agua

La calidad de un entorno acuático se define por su capacidad para satisfacer una variedad de usos, los cuales se determinan principalmente por parámetros fisicoquímicos con límites de concentración específicos, así como por el estado y la composición de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. Este enfoque ha sido adoptado por las directivas europeas desde la década de 1970, con el fin de asegurar un nivel óptimo de calidad del agua para cumplir con diversos propósitos, como el suministro de agua potable, áreas recreativas y la preservación de la vida acuática, entre otros. (SIERRA, 2011).

La calidad del agua se define como el conjunto de atributos físicos, químicos y biológicos que determinan su idoneidad para satisfacer los propósitos para los que se destinan (Malagón, 2011).

2.2.9. Contaminación

El término "contaminación" puede definirse de manera más precisa como la introducción de sustancias al medio ambiente en cantidades que provocan cambios no deseados en el aire, agua o suelo, lo que resulta en efectos adversos para los seres humanos, animales, plantas o materiales expuestos a niveles (concentraciones durante un período de tiempo) que superan los niveles naturales (Téllez, 2016).

Un contaminante es cualquier sustancia de este tipo. Al consultar un diccionario etimológico, encontramos que la palabra "contaminante" proviene del participio activo del verbo transitivo "contaminar" y del sufijo "nte", que indica la acción. En resumen, un contaminante es una sustancia o agente dañino que se encuentra en un medio o lugar donde no debería estar, o está presente en concentraciones que provocan efectos adversos. Manahan (2007), un contaminante se define como una sustancia que está presente en concentraciones superiores a las naturales, como resultado de la actividad humana, y que tiene un efecto neto perjudicial en el medio ambiente o en algún aspecto valioso dentro de

ese entorno. Es crucial tener en cuenta que la dinámica de un contaminante implica procesos de dispersión, concentración, transferencia y transformación.

Características de los contaminantes

Es fundamental prestar atención a las características de los contaminantes, especialmente aquellas que tienen un impacto significativo en el medio ambiente o la salud (Flores, 2016).

A continuación, se describen algunas de estas propiedades:

Potencial de hidrógeno (pH)

Se considera una de las propiedades más importantes de los contaminantes, ya que determina si la sustancia es corrosiva. Una sustancia se considera corrosiva si tiene un pH menor o igual a 2.0, o mayor o igual a 12,5 (Flores, 2016).

Volatilidad

Esta propiedad se refiere a la capacidad que tienen ciertos compuestos para evaporarse a bajas temperaturas y afectar la atmósfera. Entre estos compuestos se encuentran sustancias orgánicas como el etileno, propileno, benceno y acetona, que se evaporan y contribuyen directamente a la contaminación del aire, ya sea de manera primaria o a través de reacciones químicas o fotoquímicas que generan compuestos secundarios (Flores, 2016).

Degradabilidad

Se refiere a la capacidad de los compuestos para ser descompuestos por agentes naturales, físicos, químicos y biológicos, hasta alcanzar un estado neutral o niveles aceptados por la naturaleza (Flores, 2016).

Si un compuesto es descompuesto por materia orgánica viva, especialmente por bacterias especializadas, se le llama "biodegradable". Este proceso puede ocurrir de forma rápida, como en el caso de las descargas municipales que son fácilmente reducidas por bacterias, o de manera lenta, como sucede con la mayoría de las sustancias introducidas en

el medio ambiente, como los insecticidas (DDT), plásticos, aluminio, clorofluorocarbonos, entre otros (Flores, 2016).

Difusión

Se refiere a la capacidad de los contaminantes para distribuirse uniformemente en el medio que los rodea. Los gases tienen la propiedad de mezclar sus moléculas sin necesidad de que ocurra una reacción química. Los líquidos sumergidos en un solvente pueden dispersarse en todo su volumen. Aunque esta propiedad no es muy conocida en los sólidos, puede presentarse en compuestos puros que estén juntos, como en el caso de una barra de zinc junto a una de cobre; con el tiempo, parte del zinc se aloja en la barra de cobre (Flores, 2016).

Tiempo de vida media

Es el tiempo que un contaminante puede permanecer en el medio ambiente antes de ser degradado por procesos naturales. Esta propiedad varía para cada tipo de compuesto. Por ejemplo, algunos tienen un tiempo de vida media de menos de un día, mientras que otros pueden persistir durante muchos años. Un ejemplo notable es el Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT), cuya persistencia o vida media es muy alta y se estima que puede permanecer en el suelo por más de 100 años (Flores, 2016).

Sin embargo, algunas sustancias nunca se degradan por procesos naturales. En la tabla número uno en la página siguiente, se pueden observar algunos materiales o residuos y el tiempo que tardan en degradarse (Flores, 2016).

Tabla 2

Tiempo en que tardan en degradarse distintos tipos de materiales

| Residuo/material | Tiempo en degradarse |
|-----------------------------------|----------------------|
| Desechos orgánicos | 3 semanas a 4 meses |
| Ropa o género de algodón y/o lino | 1 a 5 meses |

| Residuo/material | Tiempo en degradarse |
|------------------------|-----------------------------|
| Par de medias de lana | 1 año |
| Zapatos de cuero | 3 a 5 años |
| Papel | 3 semanas a 2 meses |
| Celofán | 1 a 2 años |
| Trozo de tela | De 2 a 3 meses |
| Envases de lata | 10 a 100 años |
| Envases de aluminio | De 350 a 400 años |
| Materiales de plástico | 500 años |
| Vidrio | Indefinido en descomponerse |

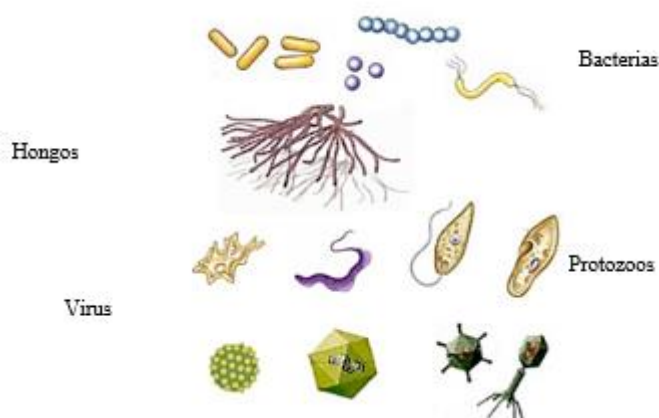
Fuente: (Flores, 2016)

Clasificación de la contaminación

Hemos examinado varios aspectos de la contaminación. Ahora nos enfocaremos en su clasificación según sus características y las fuentes que la generan, como:

Figura 4

Tipo de microorganismos patógenos



Fuente: (Flores, 2016)

Contaminación biológica

Este tipo de contaminación surge cuando hay presencia de microorganismos (bacterias, hongos, virus, protozoos, entre otros) que perturban el equilibrio natural. Suele ocurrir en condiciones higiénicas deficientes. Por ejemplo, podemos visualizar la aparición de un microclima dentro de una mina subterránea que favorece el crecimiento de hongos. (Flores, 2016).

Contaminación física

Abarca todas las formas de contaminación que tienen su origen en factores físico-mecánicos, principalmente asociados con la energía. Por ejemplo, se incluyen altas temperaturas, ruido, radiaciones y ondas electromagnéticas, entre otros (Flores, 2016).

Figura 5

Distintos tipos de contaminación física



Fuente: (Flores, 2016)

Contaminación química

Se refiere a la presencia de sustancias químicas, tanto orgánicas como inorgánicas, que contaminan diversos entornos como el suelo, aire, agua y alimentos. Esta forma de

contaminación implica la combinación de diferentes sustancias químicas, algunas de las cuales pueden ser potencialmente peligrosas para la salud humana. Aunque la contaminación química tiene raíces tan antiguas como la propia humanidad, el impacto más significativo se ha observado durante la era industrial posterior a la Segunda Guerra Mundial (Flores, 2016).

Es crucial destacar que uno de los principales desafíos relacionados con los efectos de los contaminantes químicos es la falta de comprensión sobre sus posibles repercusiones a largo plazo. Por lo tanto, la prevención juega un papel fundamental en la mitigación o evitación de los efectos adversos de estos agentes contaminantes (Flores, 2016).

Figura 6

Productos tóxicos usados en el hogar



Fuente: (Flores, 2016)

También, la contaminación puede clasificarse según su origen en dos categorías principales:

Natural

Esta clase de contaminación se origina a partir de fenómenos naturales, como las erupciones volcánicas que liberan cenizas, dióxido de carbono (CO₂), sulfuros, monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), ácido clorhídrico (HCl) y ácido fluorhídrico (HF), afectando el aire, el agua y el suelo. Por ejemplo, la actividad eruptiva de un volcán que emite gases, cenizas y lava es un claro ejemplo de esta forma de contaminación (Flores, 2016).

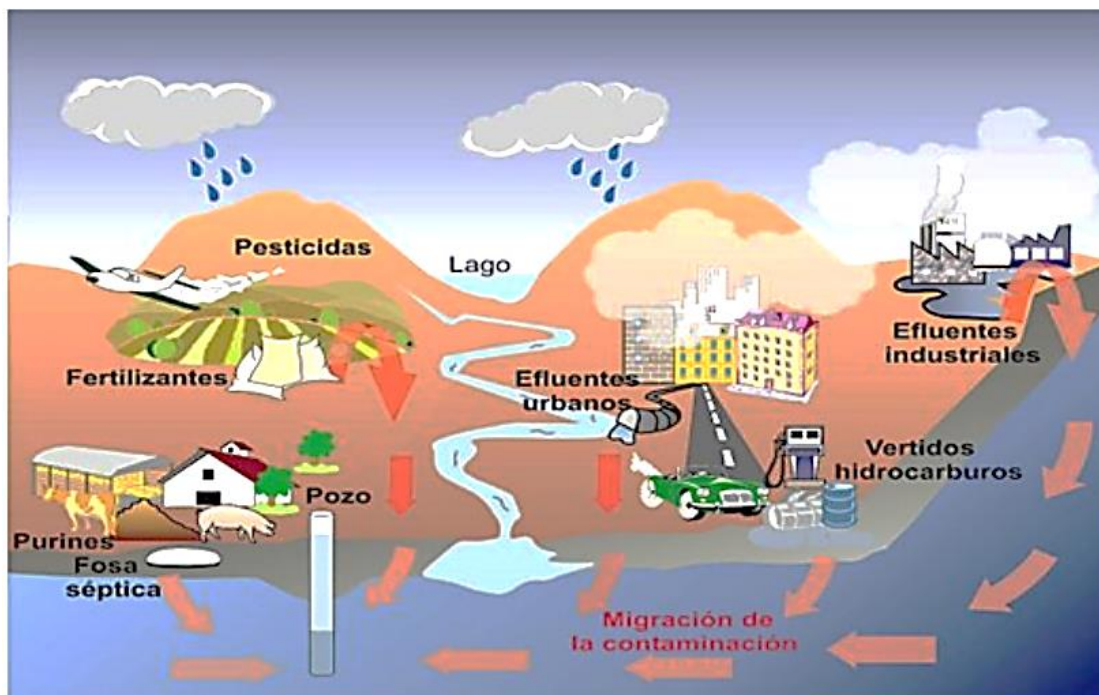
Otro origen de contaminación natural son los incendios causados por tormentas eléctricas, así como los residuos generados por la erosión de rocas ricas en minerales pesados, que contienen concentraciones elevadas de Ni, Cr y Mg, resultando en suelos tóxicos que alteran el crecimiento normal de las plantas. Además, ciertos minerales presentes en el agua de manera natural, como el Cd y el Pb, pueden representar un riesgo importante para la salud, incluso en cantidades mínimas. Se sabe también que el mercurio (Hg) presente en la corteza terrestre puede contaminar vastas áreas e incluso la biosfera, lo que implica que en concentraciones elevadas podría causar una contaminación más significativa que la generada por actividades humanas. La característica distintiva de la contaminación natural es su tendencia a dispersarse en áreas extensas, lo que atenúa su impacto debido a los procesos naturales (Flores, 2016).

Antropogénica:

Este tipo de contaminación es resultado de actividades humanas, como la generación de residuos y smog, así como las emisiones al aire, agua y suelo originadas por procesos industriales, entre otros. Este tipo de contaminación tiende a concentrarse en áreas cercanas a zonas urbanas y regiones industriales, donde los contaminantes se acumulan en cantidades significativas en el aire, agua y suelo (Flores, 2016).

Figura 7

Distintos tipos de contaminación de origen antrópico, que degradan el suelo, aire y agua



Fuente: (Flores, 2016)

2.2.10. La contaminación del agua

Se considera que un cuerpo de agua está contaminado cuando contiene sustancias que limitan su uso. Las fuentes de contaminación del agua pueden ser naturales, también conocidas como geoquímicas, que se originan en el suelo, o artificiales, es decir, antropogénicas. Por lo general, las fuentes naturales en este medio están dispersas y no generan concentraciones elevadas, excepto en lugares específicos. En contraste, la contaminación antropogénica tiende a concentrarse en áreas específicas, como industrias o ciudades. Además, los contaminantes producidos por actividades humanas suelen ser mucho más perjudiciales que los provenientes de fuentes naturales (Encinas, 2011).

Existen cuatro principales focos de contaminación antropogénica: la industria, cuyos contaminantes varían según el tipo de actividad industrial; los vertidos urbanos, que contienen principalmente contaminantes orgánicos; la navegación, que contribuye

significativamente a la contaminación por hidrocarburos; la agricultura y ganadería, responsables de la contaminación con pesticidas, fertilizantes y residuos orgánicos de origen animal y vegetal (Encinas, 2011). Encinas (2011) señala que “todos estos focos de contaminación alteran diversas propiedades del agua, tanto físicas como químicas y biológicas. Estas propiedades, afectadas por los contaminantes, son en realidad los parámetros que se evalúan para determinar la calidad del agua”.

Tabla 3

Parámetros del agua que pueden ser alterados por un contaminante

| FÍSICAS | QUÍMICAS | BIOLÓGICAS |
|--------------------------|--|----------------------|
| Color | pH | Bacterias Coliformes |
| Olor y sabor | O ₂ disuelto (OD) | Virus |
| Conductividad | DBO ₅ , DQO, COT | Microorganismos |
| Temperatura | Nitrógeno total | Animales |
| Materiales en suspensión | Fósforo total | Plantas |
| Radiactividad | Aniones: Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , | |
| Espumas | PO ₄ ³⁻ , S ²⁻ , CN ⁻ , F ⁻ | |
| | Cationes: | |
| | Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , NH ₄ ⁺ | |
| | Metales pesados | |
| | Compuestos orgánicos | |

Fuente: (Encinas, 2011)

Sustancias contaminantes del agua

Residuos con requerimiento de oxígeno

Son compuestos, mayormente orgánicos, que experimentan una rápida oxidación debido a la actividad de bacterias aerobias (Encinas, 2011).

Fuentes:

- Aguas residuales (domésticas y animales)
- Residuos de la industria alimentaria

- Desechos de plantas de papel
- Subproductos de los procesos de curtido
- Efluentes de mataderos y plantas procesadoras de alimentos

Efectos:

- Mortandad de vida microscópica aerobia y macroscópica

Medida: Existen tres métodos para evaluar estos residuos en el agua, que se detallan a continuación:

a.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): Representa la cantidad de oxígeno disuelto requerida por los microorganismos aerobios para oxidar la materia orgánica biodegradable. Se calcula midiendo la diferencia de oxígeno disuelto antes y después de una incubación de 5 días a 20 °C. La calidad del agua varía según los resultados obtenidos, como se muestra en la tabla adjunta (Encinas, 2011).

Tabla 4

Calidad del agua para distintos valores de DBO₅

| DBO ₅ | Calidad del Agua |
|------------------|------------------|
| 1 – 2 mg/L | Muy Buena |
| 3 - 5 mg/L | Aceptable |
| 6 - 9 mg/L | Mala |
| > 100 mg/L | Muy Mala |

Fuente: (Encinas, 2011)

a.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO): Indica la cantidad de oxígeno disuelto necesaria para oxidar completamente toda la materia orgánica. Se determina evaluando el exceso de oxidante agregado a la muestra (Encinas, 2011).

Tabla 5*Calidad del agua para distintos valores de DQO*

| DQO | Calidad del Agua |
|-------------|--------------------|
| 1-5 ppm | No contaminada |
| < 50 ppm | Poco contaminada |
| 250-600 ppm | Residual doméstica |

*Fuente: (Encinas, 2011)***Agentes patógenos**

Pertenecen a este grupo las bacterias, virus, protozoos. También otros organismos contagiados por estos agentes patógenos (Encinas, 2011).

Fuentes:

- Heces y restos orgánicos de personas infectadas.

Medida:

- Dada la dificultad y lentitud de los procedimientos analíticos para medir los agentes patógenos de forma directa, se mide, en su lugar, el número de bacterias coliformes y gérmenes anaerobios después de un cultivo con lactosa a 35 °C. La presencia de estos organismos indica una contaminación fecal. Si dicha contaminación es reciente estarán presentes en la muestra tanto las bacterias coliformes como los gérmenes anaerobios. Si la contaminación fecal no es reciente, no habrá bacterias coliformes (Encinas, 2011).

Nutrientes vegetales inorgánicos

Son compuestos químicos de C, N, P, K, S y varios metales traza que las plantas necesitan para crecer, pero que cuando están en concentraciones elevadas son contaminantes e impiden muchos de los usos del agua (Encinas, 2011).

Fuentes:

Naturales, es decir aporte de nutrientes por parte del suelo y del aire.

Antropogénicas, de origen humano y va referido a los vertidos:

- Urbanos
- Ganaderos y agrícolas
- Atmosféricos

Efectos:

El exceso de ciertas sustancias puede provocar la eutrofización del agua, un fenómeno caracterizado por el crecimiento excesivo de organismos debido al aporte desproporcionado de nutrientes como fosfatos (PO_4^{3-}) y nitratos (NO_3^-). El grado de eutrofización de un cuerpo de agua se determina midiendo el nivel de clorofila de las algas, el contenido de fósforo (P) y nitrógeno (N) en el agua, o la profundidad de penetración de la luz (Encinas, 2011).

2.2.11. Índice de calidad del agua

El Índice de Calidad del Agua (ICA) refleja el nivel de contaminación del agua en el momento del muestreo, expresado como un porcentaje del agua pura. Por ejemplo, un agua altamente contaminada tendría un ICA cercano o igual a 0 %; en aguas en condiciones óptimas, el valor del índice se acercaría al 100 % (Bonilla et al., 2010).

El índice de calidad del agua según Brown es una adaptación del Water Quality Index (WQI), desarrollado por la Fundación Nacional de Salud de los Estados Unidos (NSF). Este índice estándar, también conocido como ICA, se diseñó en 1970 para comparar la calidad del agua en diversas ubicaciones y a lo largo del tiempo. Se utiliza para evaluar los cambios en la calidad del agua en tramos específicos de los ríos y para comparar la calidad del agua entre diferentes ríos en todo el mundo (ICA) (Bonilla, y otros, 2010).

Para calcular el ICA, se consideran 9 parámetros, que incluyen (Bonilla, y otros, 2010):

- Coliformes fecales (en NMP/100 mL)

- pH (en unidad de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO_5 en mg/L)
- Nitratos (NO_3^- en mg/L)
- Fosfatos (PO_4^{-3} en mg/L)
- Cambio de temperatura (en °C)
- Turbidez (en FAU)
- Sólidos disueltos totales (en mg/L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

El valor máximo del ICA para condiciones óptimas es 100, y este valor disminuye a medida que se incrementa la contaminación del cuerpo de agua en estudio. Después de calcular el índice de calidad del agua, se clasifica la calidad del agua según una tabla específica (Bonilla et al., 2010):

Tabla 6

Clasificación del "ICA" propuesto por Brown

| Calidad de agua | Color | Valor |
|-----------------|-------|----------|
| Excelente | | 91 a 100 |
| Buena | | 71 a 90 |
| Regular | | 51 a 70 |
| Mala | | 26 a 50 |
| Pésima | | 0 a 25 |

Fuente: (Bonilla, y otros, 2010)

Las aguas con un ICA superior a 90 tienen la capacidad de sustentar una amplia variedad de vida acuática y serían adecuadas para todas las actividades que impliquen contacto directo con ellas (Bonilla, y otros, 2010).

Bonilla (2010) afirma que:

Las aguas clasificadas como "regulares" según el ICA generalmente presentan una menor diversidad de organismos acuáticos y a menudo experimentan un aumento en el crecimiento de algas. Aquellas categorizadas como "malas" pueden mantener solamente una diversidad baja de vida acuática y probablemente estén enfrentando problemas de contaminación. En contraste, las aguas clasificadas como "pésimas" solo pueden soportar un número limitado de formas de vida acuática, muestran problemas abundantes y normalmente no serían consideradas aptas para actividades que impliquen contacto directo, como la natación. Para determinar el valor del ICA en un punto específico, es necesario contar con mediciones de los 9 parámetros utilizados en su cálculo.

Bonilla (2010) señala que “la evaluación numérica del ICA mediante técnicas multiplicativas y ponderadas, con asignación de pesos específicos, fue desarrollada por Brown. El Índice de Brown, se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices del ICA o una función ponderada multiplicativa”.

Coliformes fecales

El agua, alimento esencial para los animales incluido el hombre, frecuentemente actúa como vehículo de transmisión de microorganismos entéricos. La materia fecal puede accidentalmente alcanzar una fuente de abastecimiento, siendo la forma más común el ingreso a través de los sistemas de pozo ciego a napas profundas (Apella & Araujo, 2016).

La presencia de microorganismos patógenos en el agua de bebida es un riesgo que se incrementa en las áreas marginales de mayor densidad poblacional o en zonas sin disponibilidad de agua potable. La seguridad que un agua contaminada puede ser causal de enfermedades ha conducido a la necesidad de controlar rutinariamente la calidad microbiológica de muestras de diversos orígenes (Apella & Araujo, 2016).

Los controles rutinarios de la totalidad de los microorganismos hídricos, potencialmente riesgosos para la salud, resultan difíciles de llevar a cabo debido a la gran variedad de bacterias patógenas cultivables, a la complejidad de los ensayos de aislamientos y a la presencia en baja concentración de varias especies altamente agresivas, sin que el orden detallado indique prioridad. Por esta razón, los análisis bacteriológicos apuntan a la búsqueda de microorganismos indicadores de contaminación fecal y se centralizan en la cuantificación de coliformes. Este grupo está integrado por enterobacterias, siendo *Escherichia coli* el indicador universal de contaminación fecal (Apella & Araujo, 2016).

pH

El pH es una medida de la acidez o de la alcalinidad de una sustancia. Esta medida es necesaria porque muchas veces no es suficiente decir que el agua está caliente, o en ocasiones, no es suficiente decir que el jugo de limón es ácido, al saber que su pH es 2,3 nos dice el grado exacto de acidez (Jenkins, 2004).

La escala de pH se define en números, donde del 0 al 7 señalan soluciones ácidas, mientras que del 7 al 14 indican soluciones alcalinas. A medida que una sustancia es más ácida, su pH tiende a estar más cercano a 0; en cambio, cuanto más alcalina es, su pH se acerca a 14. Un rango de pH entre 6,5 y 8,5 es favorable para la vida acuática en su hábitat (Jenkins, 2004).

Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅ en mg/L)

INEN (2013) enuncia que:

Se utiliza para evaluar la contaminación biológica del agua, determinando los requerimientos de oxígeno demandados por una población de microorganismos, en agua tratada o en agua contaminada. Asimismo, se emplea para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento de aguas y para dimensionar las instalaciones destinadas a dicho tratamiento. No obstante, las limitaciones identificadas en este

parámetro han suscitado investigaciones orientadas a desarrollar un método más práctico, preciso y, sobre todo, rápido para utilizar como indicador de contaminación en el agua.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de las aguas negras, efluentes de plantas industriales, aguas contaminadas y desechos industriales, se debe a tres clases de materiales, los cuales influyen en el balance de oxígeno en una corriente (INEN, 2013):

- Materiales orgánicos carbonosos que son aprovechados como fuente de nutrientes por los organismos aerobios.
- Materiales nitrogenados oxidables, que se derivan de los compuestos de nitrito, amonio y nitrógeno orgánico que sirven de nutrientes a bacterias específicas, como las nitrosomonas y nitrobacter.
- Ciertos compuestos químicos reductores (hierro ferroso, sulfito y sulfuro), que reaccionan con el oxígeno molecular disuelto (OD).

Nitratos (NO_3^- en mg/L)

Según Sigler y Bauder (2018):

Los nitratos y nitritos son sustancias solubles que contienen nitrógeno y oxígeno. En el entorno natural, el nitrito (NO_2^-) tiende a convertirse en nitrato (NO_3^-), lo que implica que es poco común encontrar nitrito en aguas subterráneas. El nitrato es esencial para el desarrollo de las plantas y se encuentra presente en todos los vegetales y granos. Por este motivo, se utiliza principalmente como fertilizante en la agricultura. En contraste, el nitrito se utiliza en la conservación de carnes, en la fabricación de explosivos y en el mantenimiento de calderas industriales. Según la Organización Mundial de la Salud, el consumo diario promedio de nitrato-N por parte de los hombres americanos oscila entre 9 y 22 miligramos, principalmente a través de verduras de hojas verdes y vegetales de raíz como zanahorias, remolachas y rábanos. Por otro lado, el consumo diario promedio de nitrito-N es menor,

entre 0,1 y 0,8 miligramos, provenientes principalmente de carnes curadas. Consumir estos niveles no se considera un riesgo para la salud.

Pruebas de laboratorio generalmente analizan juntos el nitrato y nitrito y los resultados están a menudo escritos como nitrato+nitrito en N (nitrato+nitrito-N). El estándar de nitrito-N es 1,0 mg/L en el agua potable. Aunque nitrito es muy poco común en aguas subterráneas, es generalmente asumido que casi todo el nitrato más nitrito está en la forma de nitrato. Los niveles naturales de nitrato-N varían de cero a cerca de 4 mg/L. Si el valor es más de 4 es posible que nitrato-N se está introduciendo en el agua subterránea desde la superficie o desde un sistema séptico. Si los valores de nitrato-N sobrepasan 8 mg/L se están aproximando al estándar de salud y deberían de ser monitoreados regularmente especialmente si un infante menor de un año está expuesto al agua. Los valores de nitrato-N sobre 10 mg/L no son satisfactorios y una acción se debería tomar para determinar la fuente y discontinuar el uso del agua por niños o personas con problemas cardíacos (Sigler & Bauder, 2018).

Fosfatos (PO_4^{-3} en mg/L)

Los abonos inorgánicos están constituidos por diversas clases de fosfatos solubles, los más comunes de los cuales derivan de los aniones meta- (PO_3^{-}), piro- ($P_2O_7^{-4}$) y ortofosfato (PO_4^{3-}). Debido a su elevada solubilidad, estos aniones son arrastrados fácilmente por las aguas superficiales hacia ríos, acuíferos, etc. Otra fuente de fosfatos proviene de los vertidos urbanos que contienen detergentes. Para mejorar su eficacia, algunos detergentes incorporan fosfatos inorgánicos como agentes alcalinizadores en su composición. Normalmente, las aguas naturales contienen cantidades de fosfatos por debajo de 1 mg/L. Sin embargo, cantidades superiores de estos nutrientes promueven el crecimiento de algas, las cuales consumen el oxígeno del medio acuático y pueden causar la desaparición de especies vegetales y animales (Harris, 2007).

Los compuestos de fósforo son vitales para el crecimiento de las plantas y estimulan la proliferación de algas en las aguas superficiales. Dependiendo de la cantidad de fosfato presente en el agua, puede desencadenarse el proceso de eutrofización. Solo un gramo de fosfato-fósforo ($\text{PO}_4\text{-P}$) tiene el potencial de inducir el crecimiento de hasta 100 gramos de algas. Cuando estas algas mueren, los procesos de descomposición pueden generar una demanda de oxígeno de aproximadamente 150 gramos. Las concentraciones críticas para el inicio de la eutrofización suelen situarse entre 0,1 y 0,2 mg/L de $\text{PO}_4\text{-P}$ en aguas en movimiento, y entre 0,005 y 0,01 mg/L de $\text{PO}_4\text{-P}$ en aguas estancadas (Pütz, 2008).

Los compuestos de fosfato que se encuentran en las aguas residuales o que son vertidos directamente en las aguas superficiales tienen diversas fuentes de origen:

- Fertilizantes que son transportados desde el suelo por el agua o el viento
- Excreciones humanas y animales
- Detergentes y productos de limpieza

La carga total de fosfato está compuesta por ortofosfato, polifosfato y compuestos de fósforo orgánico, siendo el ortofosfato la forma más predominante (Pütz, 2008).

Turbidez (en FAU)

La turbidez se define como la medida del grado en que el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, lo que afecta la claridad del agua. Sirve como indicador de la cantidad de sólidos, como arena, arcilla y otros materiales, presentes en el agua. A medida que aumenta la turbidez, el agua parece más sucia (Marín, 2008).

Este fenómeno puede tener un impacto significativo en los ecosistemas acuáticos al afectar procesos vitales como la fotosíntesis (al limitar la penetración de la luz solar), la respiración y la reproducción de la vida acuática (Marín, 2008).

Es importante destacar que varios factores influyen en la turbidez del agua. Estos incluyen la presencia de:

- “Fitoplancton” (plantas microscópicas)
- “Partículas de suelo (tierra) suspendidas en el agua de la erosión”
- “Sedimentos depositados en el fondo”
- “Descargas directas a cuerpos de agua” (desagües)
- “Crecimiento de las algas”
- “Escorrentía urbana”

Las implicaciones de una alta turbidez incluyen:

- Las partículas suspendidas absorben calor de la luz solar, lo que aumenta la temperatura del agua turbia y reduce la concentración de oxígeno en ella (ya que el oxígeno a menor temperatura del agua se disuelve mejor). Además, algunas especies no pueden sobrevivir en aguas más cálidas.
- Las partículas en suspensión dispersan la luz, lo que reduce la actividad fotosintética en plantas y algas, contribuyendo aún más a la disminución de la concentración de oxígeno.

La turbidez se mide en NTU (unidades nefelométricas de turbidez), utilizando un nefelómetro o turbidímetro que evalúa la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz atraviesa una muestra de agua (Marín, 2008).

Sólidos disueltos totales (en mg/L)

Los sólidos disueltos totales comprenden sales inorgánicas, principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos, así como pequeñas cantidades de materia orgánica disuelta en el agua. Estos sólidos se encuentran presentes en el agua de consumo y tienen su origen en fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y vertidos industriales (OMS, 2003).

Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

En un cuerpo de agua, el oxígeno se produce y, al mismo tiempo, se consume. La producción de oxígeno está relacionada con la fotosíntesis, mientras que el consumo depende de procesos como la respiración, la descomposición de materia orgánica y otras reacciones químicas. Además, el oxígeno puede intercambiarse con la atmósfera mediante difusión o mezcla turbulenta. La concentración total de oxígeno disuelto (OD) en el agua está determinada por el equilibrio entre estos fenómenos (Goyenola, 2007).

Si se consume más oxígeno del que se produce y captura en el sistema, los niveles de OD pueden disminuir, llegando a valores por debajo de los necesarios para la vida de muchos organismos. Los peces son especialmente susceptibles a la hipoxia, es decir, a las bajas concentraciones de oxígeno disuelto (OD) (Goyenola, 2007).

Tabla 7

Rangos de concentración de OD y consecuencias eco sistémicas frecuentes

| [OD] mg/L | Condición | Consecuencias |
|-----------|----------------|--|
| 0 | Anoxia | Muerte masiva de organismos aerobios. |
| 0-5 | Hipoxia | Desaparición de organismos y especies sensibles. |
| 5-8 | Aceptable | [OD] adecuadas para la vida de la gran mayoría |
| 8-12 | Buena | de especies de peces y otros organismos acuáticos. |
| >12 | Sobre saturada | Sistemas en plena producción fotosintética. |

Fuente: (Goyenola, 2007)

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Ríos

Se trata de corrientes continuas de agua que desembocan en otra corriente de agua o en el mar. Se caracterizan por fluir en una dirección con velocidades promedio relativamente altas, que oscilan entre 0,1 y 1,0 m/s. El flujo en los ríos es altamente variable y está sujeto

a condiciones climáticas y características del área de drenaje. Por lo general, los ríos son cuerpos de agua permanentemente mezclados, y en la mayoría de ellos, la calidad del agua es crucial en términos de flujo (Sierra, 2011).

2.3.2. Calidad de agua:

Según el Departamento de Asuntos Sociales y Económicos de la Naciones Unidas (2014):

La calidad de cualquier masa de agua sea superficial o subterránea, depende de factores naturales y antrópicos. Sin la intervención humana, la calidad del agua estaría determinada por procesos naturales como la erosión del sustrato mineral, los fenómenos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de materia orgánica y nutrientes del suelo por factores hidrológicos, así como los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua.

2.3.3. Contaminación

Se define como la introducción de cualquier sustancia en el medio ambiente en proporciones que producen efectos adversos en seres humanos, animales, plantas o materiales, superando los niveles que se encuentran habitualmente en la naturaleza (Odum & Barrett, 2006).

Fuentes de contaminación naturales:

“Dependiendo del recorrido del agua por los terrenos que atraviesa, el agua puede contener componentes de origen natural debido al contacto con la atmósfera y el suelo, como sales minerales, calcio, magnesio, hierro, entre otros” (AQUAE Fundación, s.f.).

Fuentes de contaminación artificiales:

“Resultan de actividades antropogénicas. El desarrollo industrial ha generado la presencia de ciertos componentes peligrosos para el medio ambiente y los organismos acuáticos, que son difíciles de eliminar (AQUAE Fundación, s.f.).

2.3.4. Turbiedad

Es la capacidad del material suspendido en el agua para bloquear el paso de la luz, lo que provoca que la luz se reemita en lugar de transmitirse a través de la suspensión (Roldán & Ramírez, 2008)

2.3.5. Sólidos Totales Disueltos (STD)

Según Roldán y Ramírez (2008) “la concentración total de sustancias disueltas es un parámetro útil para comprender las relaciones edáficas y la productividad en un cuerpo de agua natural. Todos los contaminantes del agua, a excepción de gases disueltos, contribuyen a la carga de sólidos”.

2.3.6. Temperatura

Es una medida de la cantidad de calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Esta medida no depende del número ni del tamaño de las partículas en un objeto (Mackenzie & Cornwell, 2012).

2.3.7. Ph

Según Mackenzie & Cornwell (2012), “indica la acidez o basicidad de una sustancia y se define como la concentración del ion hidrógeno en el agua. El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua”.

2.3.8. Oxígeno disuelto (OD)

Roldán & Ramírez (2008), señalan que “después de la temperatura, el oxígeno es uno de los factores más importantes que se deben medir en el agua. Su relevancia radica en su medición conjunta con la temperatura para establecer el porcentaje de saturación”.

2.3.9. Nitratos:

Según Roldan y Ramírez (2008):

Es una de las formas que se presenta el nitrógeno en los medios acuáticos. La principal fuente de nitrógeno en estos ambientes es el nitrógeno de la atmósfera, que retorna al medio a través de la descomposición de la materia orgánica.

2.3.10. Fosfatos

El fósforo es un elemento biogénico fundamental en el metabolismo biológico. A pesar de ser menos abundante que otros nutrientes, es el factor más limitante de la productividad primaria. El fósforo es parte de moléculas esenciales para la vida, como el ATP (adenosina trifosfato), el ADN y ARN (ácidos nucleicos) (Roldán & Ramírez, 2008).

2.3.11. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La DBO es el parámetro más utilizado para evaluar el contenido de materia orgánica en una muestra de agua. Se determina midiendo la cantidad de oxígeno que los microorganismos, principalmente bacterias, necesitan para degradar, oxidar y estabilizar la materia orgánica presente (Carrasco, 2005).

2.3.12. Parámetros biológicos

En las aguas crudas, se pueden encontrar diversos microorganismos, algunos de los cuales pueden ser patógenos y otros no. Los patógenos son organismos que causan enfermedades en los seres vivos, mientras que los no patógenos no tienen este efecto adverso (Sierra, 2011).

2.3.13. Índice de Calidad de Agua (ICA)

El término "calidad del agua" puede generar cierta confusión y ha sido objeto de críticas por parte de expertos en el campo. Aunque términos como calidad ecológica del agua, calidad fisicoquímica y calidad biológica tienen una larga tradición, el índice de calidad del agua (ICA) puede ser interpretado de diversas maneras. Por lo tanto, es necesario enfocar el tema y proporcionar el marco de referencia adecuado para su aplicación (Sierra, 2011).

2.4. Marco legal

2.4.1. Marco normativo general

“El Derecho Ambiental, tiene como objetivo regular las actividades humanas que impactan en el medio ambiente, al mismo tiempo promueve la gestión sostenible de los recursos naturales y la gobernanza ambiental” (Ministerio del Ambiente, 2011).

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA (2011) define:

El "ambiente" como todos los elementos físicos y sociales que conforman el entorno humano. Esto abarca desde la tierra, el agua, la atmósfera, el clima, el ruido, los olores, los sabores, la energía, la gestión de residuos, la contaminación terrestre y marina, hasta los factores biológicos de animales y plantas, así como los valores culturales, los sitios históricos, los monumentos y los paisajes.

Según el Ministerio de Ambiente (2011):

El artículo 2, numeral 22, de la Constitución Política del Perú establece el derecho fundamental e inalienable de disfrutar de un ambiente adecuado y equilibrado para el desarrollo de la vida, así como el deber personal y social de conservarlo. Por otra parte, la Ley General del Ambiente - Ley N° 28611 del 15 de octubre de 2005, define el entorno o ambiente como el conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos de origen natural o humano, que de manera individual o asociada constituyen el medio en el que se desarrolla la vida. Estos factores garantizan la salud individual y colectiva de las personas, así como la conservación de los recursos naturales, la diversidad biológica y el patrimonio cultural asociado a ellos, entre otros aspectos.

2.4.2. Legislación ambiental peruana

“La legislación ambiental peruana engloba todas las normativas legales vigentes emitidas por las diversas instituciones públicas a nivel nacional, regional y local, incluyendo

tratados internacionales, la Constitución, leyes, decretos, resoluciones, entre otros”. (Ministerio del Ambiente, 2011).

Para el Ministerio del Ambiente (2011):

Las últimas normas se refieren específicamente para el ámbito ambiental. Por ejemplo, el Decreto Supremo 008-2005-PCM, establece el Reglamento de la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, artículo 4º, así como el Diagnóstico Ambiental del Perú elaborado por el Grupo de Trabajo Multisectorial creado mediante la R.M N° 025-2008-PCM. El marco legal vigente designa al Ministerio del Ambiente (MINAM) como la entidad rectora del sector ambiental, responsable de desarrollar, dirigir, supervisar y ejecutar la Política Nacional del Ambiente.

2.4.3. *Ley general del ambiente*

El ministerio del Ambiente (2011) afirma que:

El Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (aprobado mediante el Decreto Legislativo N° 613), representó el primer intento legislativo de reunir, armonizar y sistematizar todos los aspectos relacionados con la regulación ambiental. Sin embargo, muchas de sus disposiciones fueron derogadas por los Decretos Legislativos N° 708 y N° 757, en el contexto del régimen de promoción de inversiones de la década de 1990. La Ley General del Ambiente actual incorpora los principios internacionales relativos a la protección y conservación del ambiente, así como la responsabilidad por el perjuicio ambiental, entre otros aspectos. Además, ratifica el carácter transversal de la gestión ambiental en el país, coordinada a nivel nacional a través del Ministerio del Ambiente. A pesar de que el derecho a un ambiente adecuado y equilibrado para el desarrollo de la vida está consagrado como un derecho fundamental en el numeral 22º del Artículo 2º de la Constitución Política,

el primer artículo del Título Preliminar de la Ley General del Ambiente lo califica como irrenunciable y establece que está acompañado por el deber de conservar el ambiente.

2.4.4. Normatividad de aguas

Según el Ministerio del Ambiente (2011):

La regulación de la protección de los recursos hídricos en el Perú se estableció mediante la Ley General de Aguas (MINAG, 1969) (DL 17752). Esta legislación asigna al Ministerio de Agricultura la responsabilidad de conservar y aumentar los recursos hídricos, mientras que al Ministerio de Salud le compete preservarlos. Las modificaciones a los Títulos I, II y III de esta ley (promulgadas mediante el Decreto Supremo N° 007-83-SA) establecieron los límites para proteger el agua superficial según una clasificación de usos.

SPDA (2017) enuncio que:

El mes de julio del año 2008 se aprobaron los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para el agua, con el propósito de determinar el nivel de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, como componente esencial de los ecosistemas acuáticos, que no representen un riesgo significativo para la salud humana ni para el ambiente. Estos ECA se aplican a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural.

Los ECA para agua tienen fuerza legal (SPDA, 2017):

- a) En el desarrollo de normativas legales y políticas públicas.
- b) En la planificación y ejecución de estrategias de gestión ambiental, de acuerdo con el Decreto Supremo 023-2009-MINAM, que establece las disposiciones para la implementación de los ECA para agua.

c) Para la emisión de permisos de descarga, a partir del 1 de abril de 2010.

El MINAM posteriormente ha establecido las regulaciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, detallando las siguientes especificaciones sobre sus categorías (SPDA, 2017):

Categoría 1. Poblacional y recreacional

- i. Subcategoría A. Aguas superficiales consignadas a la producción de agua potable:
 - A1. Aguas que pueden ser tratadas para potabilización mediante desinfección. Estas aguas están destinadas al suministro de agua para consumo humano y deben cumplir con las normativas vigentes.
 - A2. Aguas que pueden ser tratadas para potabilización mediante métodos convencionales. Estas aguas están destinadas al suministro de agua para consumo humano y pueden ser tratadas mediante procesos convencionales como decantación, coagulación, floculación, sedimentación y/o filtración, además de la desinfección según las normativas vigentes.
 - A3. Aguas que pueden ser tratadas para potabilización mediante métodos avanzados. Estas aguas están destinadas al suministro de agua para consumo humano y requieren un tratamiento físico y químico avanzado, como precloración, microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa u otros métodos equivalentes, según lo establecido por la autoridad competente.
- ii. Subcategoría B. Aguas superficiales destinadas para recreación:
 - B1. Aguas para contacto primario: Estas aguas se utilizan para actividades recreativas directas, como natación, esquí acuático, buceo libre, surf, canotaje,

navegación en tabla a vela, mota acuática, pesca submarina u otras similares, según lo determinado por la autoridad sanitaria.

- B2. Aguas para contacto secundario: Estas aguas se utilizan para actividades recreativas que no implican un contacto directo con el agua, como deportes acuáticos con botes, lanchas u otras similares, según lo determinado por la autoridad sanitaria.

Categoría 2. Actividades marino-costeras

- i. Subcategoría C1. Extracción y cultivo de moluscos bivalvos:

Este término se refiere a las aguas donde se extraen o cultivan los moluscos bivalvos, tales como ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones y organismos similares que se alimentan por filtración. Además, esta categoría también abarca a los gasterópodos (por ejemplo, caracoles, lapas), equinodermos (como estrellas de mar) y tunicados.

- ii. Subcategoría C2. Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas: En este caso, se refiere a las aguas destinadas a la extracción o el cultivo de otras especies hidrobiológicas distintas a los moluscos bivalvos, que pueden ser consumidas directa o indirectamente por los seres humanos, como peces y algas comestibles.
- iii. Subcategoría C3. Otras actividades: Esta subcategoría hace referencia a las aguas destinadas para actividades diversas que no están especificadas en las subcategorías anteriores, como el tránsito comercial marítimo, la infraestructura marina portuaria y las actividades industriales.

Categoría 3. Riego de vegetales y bebida de animales

- i. Vegetales de tallo bajo: Esta categoría se refiere a las aguas utilizadas para el riego de plantas que tienen un porte herbáceo y un tallo de longitud corta, y que

generalmente cuentan con un sistema radicular difuso o fibroso y poco profundo. Ejemplos de estos vegetales son el ajo, la lechuga, la fresa, el repollo, el apio, las arvejas y otros similares.

- ii. Vegetales de tallo alto: Aquí se hace referencia a las aguas usadas para el riego de plantas que tienen un porte arbustivo o arbóreo, y cuyo tallo tiene una longitud mayor en comparación con los vegetales de tallo bajo. Ejemplos de estos vegetales son los árboles forestales y los árboles frutales, entre otros.
- iii. Bebida de animales: Este término se refiere a las aguas usadas para el consumo de animales mayores como el ganado vacuno, ovino, porcino, equino o camélido, así como para animales menores como el ganado caprino, los cuyes, las aves y los conejos.

Categoría 4. Conservación del ambiente acuático

Esta clasificación se aplica a cuerpos de agua superficiales cuyas características deben protegerse por formar parte de ecosistemas frágiles o reservas naturales y sus zonas de amortiguamiento.

Lagunas y lagos:

Incluye todas las aguas que no tienen un flujo continuo, es decir, cuerpos de agua en estado léntico, que también engloban los humedales.

Ríos:

Comprende todas las aguas que fluyen en una dirección constante, con un movimiento definido y progresivo, es decir, cuerpos de agua en estado lótico.

- Ríos de la costa y sierra: Se refiere a los ríos y sus afluentes en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, así como en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes.

- Ríos de la selva: Se refiere a los ríos y sus afluentes en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes, en las áreas meándricas.

Ecosistemas marino-costeros:

- Estuarios: Son áreas donde el agua del mar entra en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea, e incluyen marismas y manglares.
- Marinos: Se refiere a la zona del mar desde los 500 m de la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Estas categorías no incluyen aguas marinas destinadas a la potabilización, aguas subterráneas, aguas de origen minero-medicinal, aguas geotermales, aguas atmosféricas ni aguas residuales tratadas para su reutilización.

Asimismo, para asignar la categoría a los cuerpos de agua según su calidad, la ANA debe considerar lo siguiente (SPDA, 2017):

- a. Utilizar las categorías establecidas en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua vigentes;
- b. En caso de que en una misma zona de un cuerpo de agua coexistan dos o más categorías, la ANA determinará la categoría priorizando la protección de la salud humana;
- c. A los cuerpos de agua a los que no se les haya asignado una categoría según su calidad, se les dará transitoriamente la categoría del recurso hídrico al que tributan.

Para implementar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, es esencial considerar los siguientes puntos (SPDA, 2017):

- a) En áreas designadas como zonas intangibles para el vertido de efluentes, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) debe aplicar medidas de control y vigilancia para preservar o recuperar la calidad ambiental del agua. Esto implica tener en

cuenta el ECA correspondiente a la categoría asignada al cuerpo de agua en cuestión.

- b) En cuerpos de agua destinados a recibir vertidos de efluentes, la ANA debe asegurar el cumplimiento de los ECA para agua fuera de la zona de mezcla, utilizando la categoría asignada al cuerpo de agua como referencia. La ANA establecerá la metodología y los criterios para definir la zona de mezcla en coordinación con el Ministerio del Ambiente (MINAM) y la autoridad ambiental del sector respectivo.

“Para revisar los estándares nacionales de calidad ambiental para agua, el MINAM elaborará procesos, metodologías, directrices y planes considerando evidencias técnicas, resultados de vigilancia, control y monitoreo de la calidad ambiental del agua, entre otros factores”. (SPDA, 2017). A continuación, se presenta información sobre los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua requeridos para el Índice de Calidad de Agua (ICA) del río Muyurina.

Tabla 8

Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, D.S. N° 004 – 2017-MINAM

| Parámetro | Unidad de medida | Categoría 3 | | |
|---|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | | D1: Riego de vegetales | | D2: Bebida de animales |
| | | Agua para riego no restringido (c) | Agua para riego restringido | Bebida de animales |
| Parámetros fisicoquímicos | | | | |
| Color (b) | Color verdadero Escala Pt/Co | 100 (a) | | 100 (a) |
| Conductividad | uS/cm | 2500 | | 5000 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | mg/L | 15 | | 15 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/L | 40 | | 40 |
| Oxígeno Disuelto (valor mínimo) | mg/L | >=4 | | >=5 |
| Potencial de Hidrógeno (pH) | Unidad de pH | 6,5-8,5 | | 6,5-8,4 |
| Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N) | mg/L | 100 | | 100 |
| Sulfatos | mg/L | 1000 | | 1000 |
| Temperatura | °C | Δ3 | | Δ3 |
| Microbiológicos y parasitológico | | | | |
| Coliformes termotolerantes | NMP/100 mL | 1000 | 2000 | 1000 |
| Escherichia coli | NMP/100 mL | 1000 | ** | ** |
| Huevos de Helmintos | Huevo/L | 1 | 1 | ** |

Nota. (a): Se refiere a cuerpos de agua con transparencia natural y sin cambios anormales en su coloración. (b): Después de haber sido sometido a un proceso de filtración simple. (c): En el contexto del riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, solo se consideran los parámetros microbiológicos y parasitológicos relevantes para el tipo de riego sin restricciones. Δ 3: Indica una variación de 3 grados Celsius en comparación con el promedio mensual multianual del área evaluada. El símbolo

*** dentro de la tabla señala que el parámetro no es aplicable para esta subcategoría. Los valores de los parámetros se presentan como concentraciones totales, salvo que se especifique lo contrario.*

Fuente: Decreto Supremo N°004 – 2017-MINAM

Capítulo III

Diseño Metodológico

3.1. Tipo y nivel de investigación

Este estudio se clasifica como investigación básica y adopta un enfoque descriptivo, según Sampieri (2014): “la investigación descriptiva tiene como objetivo identificar las propiedades y características fundamentales de cualquier fenómeno bajo análisis. En otras palabras, busca recopilar información o medir variables de manera independiente o conjunta, sin manipular variables ni analizar sus relaciones (Hernández, 2014).

3.2. Diseño de investigación

El diseño de esta investigación es no experimental, lo que significa que no involucra la manipulación deliberada de variables. Se centra en la observación de fenómenos en su entorno natural para su análisis. Dentro del diseño no experimental, este estudio adopta un enfoque longitudinal. Según Sampieri (2014): el diseño longitudinal busca analizar cambios a lo largo del tiempo y recopilar datos en distintos puntos temporales para inferir la evolución del problema de investigación o fenómeno, así como sus causas y efectos.

Variable de interés

- Índice de Calidad del Agua (ICA)

Indicadores

- Coliformes fecales (en NMP/100 mL)
- pH (en unidad de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅ en mg/L)
- Nitratos (NO₃ en mg/L)
- Fosfatos (PO_4^{-3} en mg/L)
- Cambio de temperatura (°C)
- Turbidez (en UTN)

- Sólidos disueltos totales (mg/L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

El área de estudio se encuentra situada en el distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho. Los ensayos de laboratorio del trabajo de investigación se llevaron a cabo en los ambientes de los laboratorios de Química Analítica y Análisis Instrumental; laboratorios que pertenecen a la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Asimismo, también se realizaron los análisis en el laboratorio de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR Totorá).

3.3. Operacionalización de variables

En la tabla siguiente se detalla las variables, dimensiones e indicadores respectivos.

Tabla 9

Operacionalización de variables

| Variable de estudio | Dimensiones | Concepto | Indicadores |
|----------------------------|---|--|---|
| Índice de calidad del agua | pH | Es el potencial de hidrógeno, medida para determinar el grado de alcalinidad o acidez de la muestra que representa el cuerpo de agua del río Muyurina. | pH en los diferentes puntos de muestreo |
| | Temperatura del proceso | Se define a los grados de calor expuesta el cuerpo de agua del río Muyurina. | Grados Celsius del cuerpo de agua en los diferentes puntos de muestreo (°C). |
| | Turbidez | Entendida como la medida de la cantidad de partículas en suspensión en el agua. Las algas, los sedimentos en suspensión, la materia orgánica y los contaminantes pueden enturbiar el agua. | Unidades Nefelométricas de Turbidez de los diferentes puntos de muestreo (UNT). |
| | Coliformes fecales | Se definen como el grupo de organismos coliformes que pueden fermentar la lactosa a 44-45 °C. | Número más probable por 100 mililitros de muestra de agua (NMP/100 mL). |
| | Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días | Indica la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua | Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días de la población microbiana de la muestra del río Muyurina |

| Variable de estudio | Dimensiones | Concepto | Indicadores |
|---------------------|---------------------------|--|---|
| | | en un periodo de 5 días. | (mg/L) |
| | Nitratos | Son iones formados por tres átomos de oxígeno, uno de nitrógeno y con una carga negativa (NO_3^-), no tienen color ni sabor. | Concentración de nitratos (NO_3^-) en las muestras de agua (mg/L) |
| | Fosfatos | Son las sales o los ésteres del ácido fosfórico, tienen en común un átomo de fósforo rodeado por cuatro átomos de oxígeno en forma tetraédrica, considerados como nutrientes de las plantas y que conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales. | Concentración de fosfatos (PO_4^{3-}) de agua (mg/L) |
| | Sólidos Disueltos Totales | Suma de todos los minerales, metales, y sales disueltas en el agua. | Concentración de sólidos ionizados totales disueltos en las muestras de agua (mg/L) |
| | Oxígeno Disuelto | Cantidad de oxígeno gaseoso que está disuelto en el agua | Oxígeno Disuelto de las muestras de agua (% saturación) |

Nota. El Índice de Calidad del Agua está dado por la siguiente ecuación.

$$ICA = \sum_{i=1}^9 SI_i W_i$$

Donde:

SI_i : Índice de calidad para el parámetro i

W_i : Coeficiente de ponderación del parámetro i

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A continuación, se describen las técnicas e instrumentos empleados para la recolección de datos en este estudio de investigación.

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

En esta sección se explican las técnicas utilizadas para recopilar la información necesaria para la investigación. Se establecieron cuatro estaciones de muestreo a lo largo del tramo donde los ríos Alameda y Huatatas convergen, formando el río Muyurina. Se realizaron un total de seis muestreos, divididos en tres durante la época de estiaje y tres durante la época de lluvias, con el propósito de determinar el Índice de Calidad de Agua del río Muyurina.

Planificación del monitoreo

La planificación del monitoreo se llevó a cabo siguiendo las directrices establecidas en la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA (consultar anexo 2), la cual detalla el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales". Este protocolo se compone de tres fases, adaptadas al objetivo específico de la investigación en cuestión.

a. Fase de premonitoreo

- Planificación del monitoreo, se establecieron fechas específicas para la toma de muestras.
- Establecimiento de la red de puntos de monitoreo.
- Codificación de los puntos de muestreo.
- Determinación de la frecuencia de monitoreo.
- Identificación de los parámetros recomendados para calcular el Índice de Calidad del Agua del río Muyurina.
- Preparación de materiales, equipos y equipo de protección personal.
- Garantía de seguridad durante el trabajo de campo.

b. Fase de monitoreo

- Evaluación del entorno.
- Etiquetado y rotulado de muestras.
- Georreferenciación de los puntos de muestreo en las cuatro estaciones previamente establecidas, utilizando el sistema UTM.
- Medición de los parámetros de campo necesarios para calcular el Índice de Calidad del Agua del río Muyurina, como el oxígeno disuelto, el pH, la conductividad eléctrica y la temperatura, cuyas lecturas se tomaron inmediatamente después de recolectar la muestra correspondiente.

- Recolección de muestras.
 - Preservación de las muestras.
 - Completado de la cadena de custodia.
 - Transporte adecuado de las muestras.
 - Aseguramiento de la calidad de los resultados.
- c. Fase de posmonitoreo
- Análisis de las muestras en el laboratorio.
 - Procesamiento y revisión de datos de los análisis.

Tabla 10

Coordenadas UTM de los puntos de muestreo evaluado

| Código de muestra | Zona | Coordenadas UTM | Referencia |
|--------------------------|-------------|---------------------------------|---|
| Rmuyu-01 | | 588085.61 m E 8547429.71 m S | Se consideró 100 m río abajo desde la unión de los ríos Alameda y Huatatas. A una distancia de 1325 m con respecto |
| Rmuyu-02 | | 588019.56 m E 8548752.60 m S | a la primera estación de muestreo, el cual se encuentra en el Centro Poblado de Viña Chiquita. |
| Rmuyu-03 | 18 L | 587713.58 m E 8549480.20 m S | Ubicada entre los Centros Poblados Rumichaca Baja y frente al Centro Poblado Viña Chiquita a una distancia de 790 m río abajo respecto a la segunda estación de muestreo. |
| Rmuyu-04 | | 587157.36 m E 8549980.47 m S | Se encuentra 100 metros antes del puente del río Muyurina, encuentro de los ríos Muyurina y Niño Yucaes. A una distancia de 748 m debajo del tercer punto de estación. |

Toma de muestra

Se prepararon todos los materiales necesarios para la recolección de muestras antes del momento del muestreo. Las muestras de agua del río Muyurina se tomaron siguiendo los criterios establecidos en el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales" de la Autoridad Nacional del Agua (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA), tal como se indica en el anexo 2.

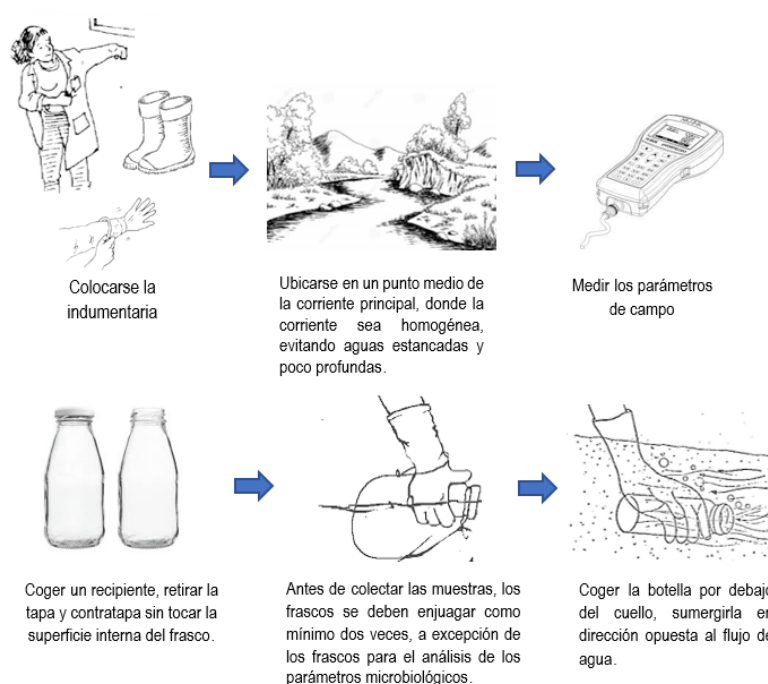
Basándose en el establecimiento de cuatro (04) estaciones de muestreo tanto durante la época de estiaje como durante la de lluvias, se detalla a continuación el procedimiento según la época:

Época de estiaje

Durante este periodo, el caudal del río Muyurina es bajo y su profundidad es reducida, lo que facilita el acceso al cuerpo de agua. Por lo tanto, se tomaron precauciones para evitar contaminar las muestras al perturbar los sedimentos del lecho del río. Se incluye un esquema que describe el proceso de toma de muestras durante la época de estiaje.

Figura 8

Esquema de toma de muestra en época de estiaje

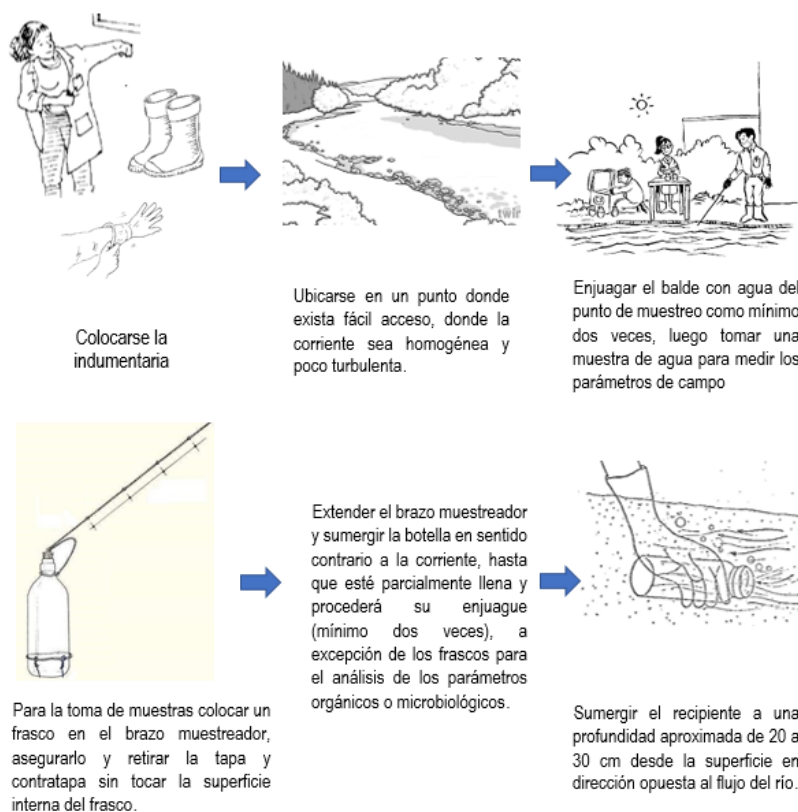


Época de lluvia

En esta situación, el río presenta un caudal abundante o una gran profundidad. A continuación, se presenta un esquema del procedimiento:

Figura 9

Esquema de toma de muestra en época de lluvia

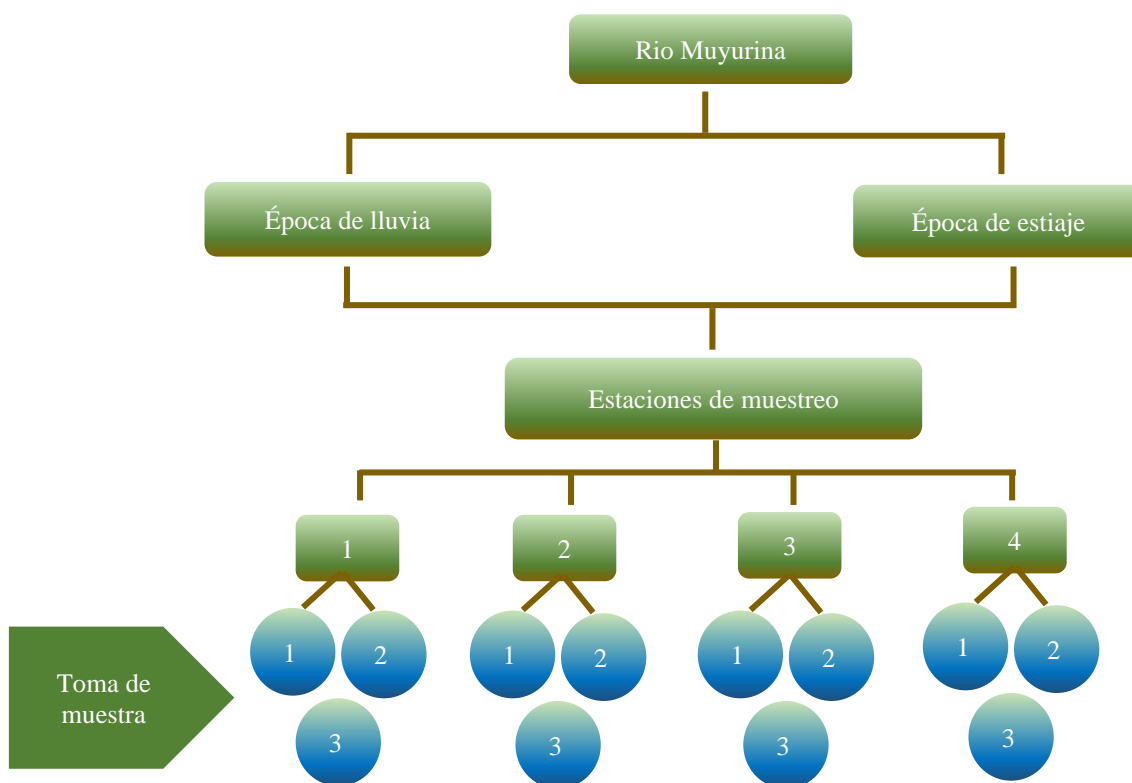


Adicionalmente, se tiene que tener en cuenta lo siguiente:

- Se recomienda dejar un espacio del 10 % del volumen del recipiente para las muestras microbiológicas, asegurando así un suministro adecuado de oxígeno para las bacterias.
- Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), se aconseja llenar el frasco lentamente hasta su totalidad para evitar la formación de burbujas.

Figura 10

Esquema de la organización de puntos de muestreo



Conservación y preservación de la muestra

Las muestras recolectadas se mantuvieron en cajas térmicas verticales (coolers) para evitar derrames y la exposición a la luz solar, conservándolas a una temperatura de 4 °C. Luego, fueron transportadas al laboratorio de control de calidad de la PTAR Totorá y al laboratorio de Química Analítica de la Universidad de San Cristóbal de Huamanga para su análisis en las horas posteriores a la recolección.

Este procedimiento se realizó siguiendo el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales" de la Autoridad Nacional del Agua, el cual se detalla en la tabla siguiente.

Tabla 11*Conservación y preservación de muestra de agua en función del parámetro evaluado*

| Parámetro | Tipo de recipiente | Condiciones de preservación y almacenamiento | Tiempo máximo de almacenamiento |
|---|----------------------------|---|--|
| Químico-Físicos | | | |
| Oxígeno disuelto | Plástico o vidrio | Analizar preferentemente <i>in situ</i> . | Inmediatamente |
| | Botellas de vidrio Winkler | Fijar el oxígeno. Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras. | 4 días |
| pH | Plástico o vidrio | Analizar preferentemente <i>in situ</i> . | 24 horas |
| Temperatura | Plástico o vidrio | Analizar preferentemente <i>in situ</i> . | Inmediatamente |
| Sólidos disueltos totales | Plástico o vidrio | Conservadas a $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$. | 7 días |
| Turbiedad | Plástico o vidrio | Analizar preferentemente <i>in situ</i> . Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras. | 24 horas |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días | Plástico o vidrio | Llenar recipiente y sellar sin burbujas. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras. | 24 horas |
| | Plástico | Congelar por debajo de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras. | 1 mes (6 meses si $>50\text{ mg/L}$). |
| Nutrientes | | | |
| Fosfatos | PE-HD o PTFE / PFA o FEP | Filtrar <i>in situ</i> . Acidificar a pH 1 - 2 con HNO_3 | 1 mes |
| | | Congelar por debajo de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. | 1 mes |

| Parámetro | Tipo de recipiente | Condiciones de preservación y almacenamiento | Tiempo máximo de almacenamiento |
|--------------------|--------------------|---|---------------------------------|
| | | 18 °C. | |
| Nitratos | Plástico o vidrio | Filtrar <i>in situ</i> . | 4 días |
| Microbiológicos | | | |
| Coliformes fecales | Vidrio estéril | Dejar un espacio para aireación y mezcla de 1/3 del frasco de muestreo. Almacenar a ≤ 6 °C y en oscuridad. | 24 horas |

Nota. (FEP) perfluoro(etileno/propileno), (PE-HD) polietileno de alta densidad, (PTFE) politetrafluoroetileno, (PFA) perfluoroalcoxi-polímero. La indicación de "Filtrar in situ" implica que la muestra de agua debe ser filtrada en el campo utilizando un tamaño de poro de filtro de 0,40 μm a 0,45 μm .

Fuente: Parámetros químico-físicos: (Internacional Organization for Standardization [ISO], 2012); parámetros microbiológicos: (Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012).

En la tabla siguiente se presenta, a modo de resumen, los diversos parámetros necesarios para calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Muyurina, junto con la descripción de la toma de muestras y el equipo necesario.

Tabla 12

Parámetros necesarios para el ICA

| N° | Parámetros | Descripción de toma de muestra | Equipos y/o insumos |
|----|---------------------------|--|---|
| 1 | Oxígeno Disuelto | Se realizó "in situ", se efectuó en una jarra | Multiparámetro, modelo |
| 2 | pH | plástica, disponiendo los electrodos en una | HANNA, previamente |
| 3 | Temperatura | cantidad de 1 000 mL de muestra, primeramente, se midió el parámetro de Oxígeno Disuelto, luego el pH, temperatura. | calibrado. |
| 4 | Sólidos Disueltos Totales | Las muestras deben recolectarse en frascos plásticos o de vidrio y refrigerarse inmediatamente. Realizar el análisis lo antes posible, y en caso de requerirse | Estufa, equipo de filtración, filtros para análisis gravimétrico: AP40 Millipore o equivalente (como GF 1822047 o 934AH |

| N° | Parámetros | Descripción de toma de muestra | Equipos y/o insumos |
|----|---|--|--|
| | | almacenamiento, hacerlo a temperatura \leq 6 °C por un tiempo máximo de 7 días. | Whatman). |
| 5 | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | La muestra se recolectó en 01 frasco de plástico de 1 000 mL, con previo doble enjuague. | Oxímetro DO 6 plus 5-0107-01 LAMOTTE. Se verifico la ausencia de burbujas en la muestra y se refrigero con ice pack para su traslado. |
| 6 | Turbidez | La muestra se recolectó en 01 frasco de plástico de 1 000 mL, con previo doble enjuague. | Turbidímetro portátil TB1 |
| 7 | Fosfatos | La muestra se recolectó en 01 frasco de plástico de 1 000 mL, con previo doble enjuague. | Este parámetro no requiere de reactivos de preservación, solo se refrigero con ice pack para su traslado. |
| 8 | Nitratos | La muestra se recolectó en 01 frasco de plástico de 500 mL, con previo doble enjuague. | Se preservó con ácido sulfúrico y se refrigero con ice pack para su traslado. |
| 9 | Coliformes termotolerantes o fecales | La muestra se recolectó en 01 vaso de plástico estéril transparente de 100 ml, dejando una cámara de aire (1/4 del frasco), a una profundidad aproximada de 20 cm de la superficie de la corriente de agua, sin previo enjuague. | Este parámetro no requiere de reactivos de preservación, solo se refrigero con ice pack y los frascos se embalaron en bolsas de poliburbujas para su traslado. |

Fuente: (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, 2016)

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Equipos

Los equipos que se emplearon fueron los siguientes:

- Multiparámetro, modelo HANNA
- Cámara fotográfica, marca Sony
- GPS Garmin MAP64s
- Oxímetro DO 6 plus 5-0107-01 LAMOTTE
- Turbidímetro portátil TB1
- Sistema de Posicionamiento Global, Garmin GPS 60 Handheld
- Estufa
- Equipo de filtración

- Filtros para análisis gravimétrico: ap40 millipore o equivalente” (como gf 1822047 ó 934ah whatman).
- Balanza analítica: Capacidad 120 g, precisión 0,0001 g, burbuja de nivel y pies regulables, urna de cristal con puertas deslizables y pesada en gramos.
- Espectrofotómetro para trabajar en intervalo ultravioleta (220 nm) con cubetas para las lecturas.

Materiales

- Frasco de plástico de 500 mL con tapa hermética.
- Frascos oscuros y frascos oxitop
- Caja de tecnopor
- Etiquetas para el rotulado
- Cubetas para espectrofotometría
- Soporte universal
- Vaso precipitado
- Pipetas
- Probeta
- Fiolas
- Papel filtro de tipo circular whatman N° 50
- Agua destilada

- Picetas
- Marcador indeleble
- Espátula
- Etiquetas para el rotulado
- Libreta de apuntes
- Placas Petri
- Tubos de ensayo
- Gradilla
- Indumentaria (mandil, cubreboca, botas de jebe y guantes descartables)
- Asa de siembra y ansa micológica

Reactivos

- Ácido clorhídrico de concentración de 1 N.
- Solución Madre de Nitrato: KNO_3 , cloroformo.
- Solución Madre de Fosfatos (100 mg $\text{PO}_4^{-3}/\text{L}$).
- Solución Patrón de Fosfatos (1 mg $\text{PO}_4^{-3}/\text{L}$)
- Solución de ácido sulfúrico 5 N.
- Solución de ácido ascórbico 0,1 M.
- Solución de molibdato de amonio al 4 %.
- Solución de tartrato doble de antimonio y potasio.
- Reactivo Combinado para Fosfato.
- Hidróxido de sodio
- Agua destilada

Para mayor detalle de la preparación de los diferentes reactivos necesarios para la determinación del ICA del río Muyurina se tiene el anexo 3.

3.5. Técnicas de procedimiento y análisis de datos

En este ítem se describe el procedimiento efectuado para la determinación de los parámetros para la determinación del ICA del río Muyurina. Para un mayor detalle respecto al fundamento, ámbito de aplicación, interferencias y descripción de los procedimientos para la obtención de los parámetros fisicoquímicos de recursos hídricos se tiene el anexo 3.

3.5.1. *Técnicas determinación de parámetros para el ICA*

Se realizaron mediciones "in situ" para algunos parámetros y otros se analizaron en el laboratorio, por lo que a continuación se detalla el procedimiento utilizado. Estos procedimientos se basaron en el "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd Edition" y en el "Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas" (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

Procedimiento para la determinación de Oxígeno Disuelto, temperatura y pH

- Se colocó el sensor en el recipiente que contenía la muestra recolectada.

- Una vez que el equipo multiparámetro se estabilizó, se observó el valor en la pantalla y se registró como el valor del parámetro respectivo.

Procedimiento para la determinación de turbidez

- Se llenó la cubeta de muestra hasta la línea de llenado (aproximadamente 15 mL).
- Se sujetó la cubeta por la parte superior y se tapó.
- Se limpió la cubeta con un paño suave y sin pelusa para eliminar las manchas de agua y las huellas de los dedos.
- Se introdujo la cubeta de muestra en el compartimento del turbidímetro.
- Se cerró la tapa y se presionó la tecla "READ" para realizar la lectura de la turbidez".

Procedimiento para la determinación de Sólidos Disueltos Totales

- Este procedimiento se llevó a cabo dos veces para cada muestra.
- Se encendió la estufa a 180 ± 2 °C, temperatura en la que el agua de cristalización está prácticamente ausente.
- Se colocó el filtro (con la cara rugosa hacia arriba) en el equipo de filtración.
- Se aplicó vacío y se lavó con 3 porciones sucesivas de 20 mL de agua destilada.
- Se continuó con la succión hasta que se eliminaron por completo las trazas de agua y se desechó el filtrado.
- Se retiró el filtro y se colocó en la luna de reloj, previamente pesada (Peso A).
- Se introdujo en la estufa durante 1 hora a 180 ± 2 °C.
- Después de la hora, se retiró la luna de reloj con el filtro y se colocó en el desecador.
- Se registraron los pesos (Peso B).

- Se repitió el proceso hasta que la variación de peso fuera menor al 4 % o de 0,5 mg.

Procedimiento para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

- Se vertió el contenido del frasco de vidrio en una probeta graduada, usando una cantidad de 428 mL.
- Luego, se transfirió el contenido de la probeta a los frascos oxitop.
- Se insertaron las varillas de agitación magnética en los frascos.
- Se añadieron 10 gotas de inhibidor de nitrificación.
- En el recipiente de caucho situado en la boca del frasco oxitop, se colocaron 3 pastillas de hidróxido de sodio.
- Los frascos oxitop se sellaron con los cabezales de medición o sensores de presión. Activando el sensor con el mando a distancia.
- Se colocaron los frascos en las plataformas de agitación.
- Las plataformas se ubicaron en la incubadora a 20 °C durante 5 días.
- Se registraron las lecturas de la DBO5 en mg/L el quinto día”.

Procedimiento para la determinación de nitratos

Las condiciones ambientales no son críticas para este ensayo. Primeramente, describiremos el procedimiento para obtener la curva de calibración:

- En fioles de 50 mL, se pipetearon volúmenes crecientes de la solución de nitrato y se enrasaron con agua para obtener al menos seis concentraciones en el intervalo de 0 a 7 mg/L N-NO₃, equivalente a 0 a 31 mg NO₃/L.
- Luego, se trasvasaron a vasos de precipitados de 100 mL, se añadió 1 mL de HCl 1 N y se agitó.
- Se transfirieron a cubetas de paso óptico de 1 cm y se leyeron las absorbancias a 220 nm en el espectrofotómetro.

Ahora, veremos la manera para la determinación de nitratos en las muestras tomadas.

- Tras refrigerar las muestras, se dejan estabilizar a temperatura ambiente.
- Se transfirieron 50 mL de muestra previamente filtrada "in situ" a un vaso de precipitado de 100 mL, se añadió 1 mL de HCl 1 N y se agitó para asegurar una mezcla adecuada.
- Se trasladan a cubetas de paso óptico de 1 cm y se leen las absorbancias a 220 nm en el espectrofotómetro.

Procedimiento para la determinación de fosfatos

- Se colocó papel filtro de tipo circular Whatman N° 50 en el embudo de filtración.
- Se filtraron 10 mL de agua destilada para humedecer el papel filtro.
- Después, se filtró una cantidad de 50 mL de agua de cada una de las zonas de muestreo en frascos de vidrio previamente esterilizados.
- Se preparó el reactivo mixto previamente, combinando 50 mL de ácido sulfúrico 5 N, 5 mL de solución de tartrato de antimonio y potasio, 15 mL de solución de molibdato de amonio y 30 mL de solución de ácido ascórbico.
- A cada frasco se añadió una gota de fenolftaleína para observar si se desarrollaba un color fucsia.
- Luego, se agregaron 8 mL del reactivo mixto a cada muestra y se agitó.
- Después de un periodo de entre 10 y 30 minutos, se realizó la lectura en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 880 nm.
- Las lecturas de fosfatos en mg/L se obtuvieron a partir de la curva estándar.
- En caso de que las lecturas superasen los valores mínimo y máximo, se diluyó la muestra (10 mL en 90 mL de agua destilada) y se volvió a realizar la lectura, multiplicando el resultado por 10.

Procedimiento para la determinación de coliformes fecales

- Se preparó el caldo A-1 y se vertió en los tubos de ensayo, añadiendo las campanas de Durham en cada uno, los cuales fueron esterilizados en autoclave.
- Se dispusieron frascos con agua de dilución estéril para realizar las diluciones sucesivas.
- Se añadieron 10 mL de muestra en un frasco con agua de dilución, generando una dilución de 10-1.
- Se repitió el proceso, transfiriendo 10 mL de la muestra diluida anteriormente (10-1) al siguiente frasco con agua de dilución para obtener una dilución de 10-2.
- Se continuó vertiendo 10 mL de la muestra diluida (10-2) al siguiente frasco con agua de dilución para alcanzar una dilución de 10-3.
- Se tomó 1 mL de cada uno de los frascos que contenían las diluciones y se añadieron a los tubos de ensayo con la solución del caldo A-1. Cada dilución se sembró 5 veces.
- Los tubos de ensayo con las muestras a diferentes diluciones se colocaron en una gradilla y se incubaron en baño maría a 44,2 °C durante 24 horas.
- Después de este periodo, se leyeron los tubos positivos, identificados por la presencia de gas en las campanas de Durham de cada dilución.
- Para calcular la cantidad de coliformes fecales, se contaron los tubos positivos de cada dilución. Estos datos se compararon con una tabla de NMP (Número Más Probable) que se encuentra en el anexo 4. El valor obtenido se multiplicó por la inversa de la última dilución positiva, dividido entre 10, para obtener el resultado en NMP/100 mL (López, 2012).

Las tablas necesarias para calcular los coliformes fecales se extrajeron del "Manual Práctico de Microbiología-Tomo II: Microbiología Ambiental II" y están disponibles en el anexo 4 (Manacorda, Álvarez, Pezzullo, & Cuadros, 2014).

Asimismo, a modo de dar mayor alcance sobre el procedimiento para determinar coliformes fecales, se presenta el esquema del procedimiento respectivo. En la figura 11, se presenta la descripción del análisis de los datos para la presente investigación.

3.5.2. *Análisis de datos*

Los análisis incluyen los básicos, gravimétricos, microbiológicos y complementarios mediante espectrofotometría.

Análisis básicos

Estos abarcan los parámetros de pH, temperatura y turbidez.

Análisis gravimétricos

“El análisis gravimétrico es una técnica de laboratorio empleada para determinar la masa o la concentración de una sustancia mediante la medición de un cambio en la masa” (Khan Academy, 2015). En este tipo de análisis, la sustancia química que se intenta cuantificar se denomina comúnmente el "analito". Se realizó este análisis con el fin de determinar los Sólidos Disueltos Totales.

Análisis colorimétricos

“El análisis colorimétrico se fundamenta en la medición de la interacción de la luz de una longitud de onda específica con un compuesto de interés (analito) presente en una solución” (Condezo-Hoyos, Abderrahim, & Arribas, 2015). Este método se utilizó para determinar los niveles de Nitratos y Fosfatos.

Espectrofotometría

Según Alcarraz (2011):

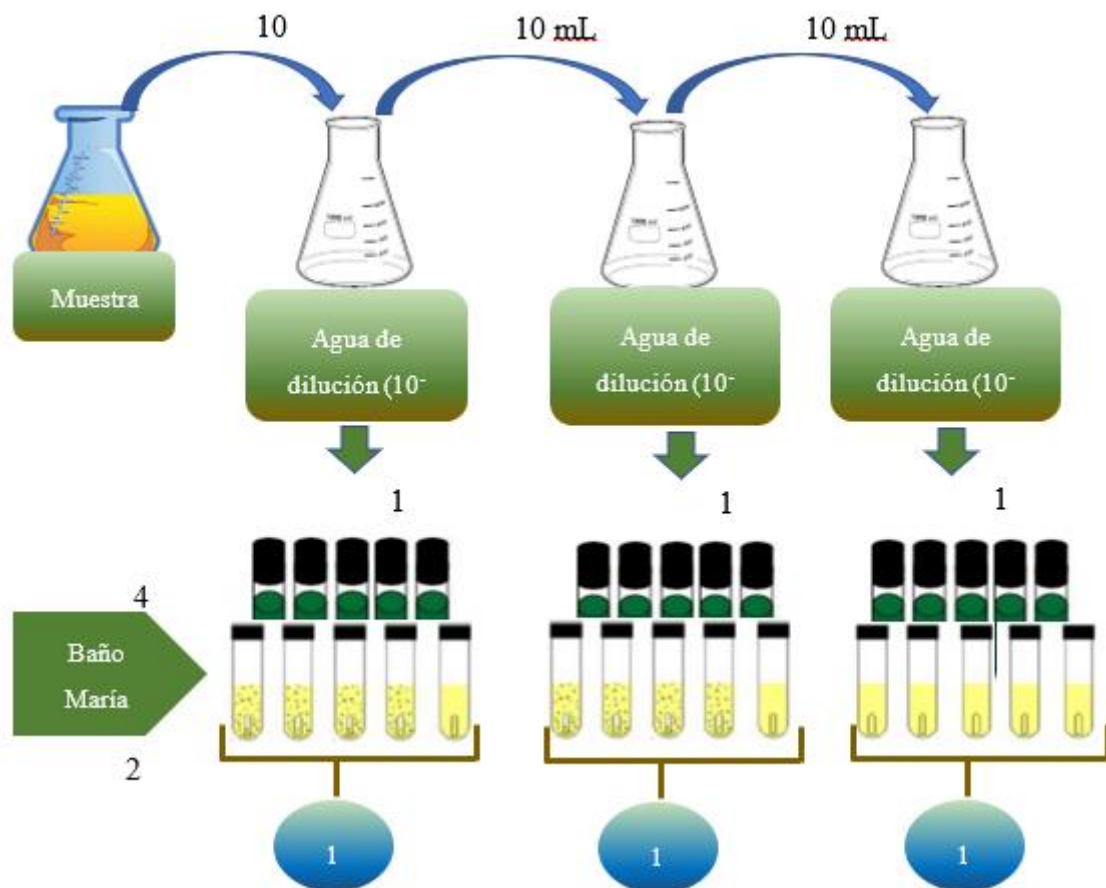
La espectrofotometría consiste en utilizar la luz para determinar la cantidad de analito presente en muestras problemáticas. Se basa en la cantidad de radiación que la muestra absorbe, dependiendo de la concentración del analito, que absorbe una parte de la luz incidente y transmite el resto. Además, se producen otros fenómenos como la dispersión y la reflexión.

Análisis microbiológico

Este análisis está relacionado con la determinación de los coliformes termotolerantes o fecales.

Figura 11

Esquema del procedimiento para determinar coliformes fecales



Capítulo IV

Resultados Y Discusión

Los resultados se exhiben en tablas y figuras que presentan estadísticas descriptivas de distribución, abarcando valores mínimos, máximos, promedios, tendencia central y el valor de probabilidad (denominado "p"). Además, en cada figura, según corresponda al pH, Oxígeno Disuelto (mg/L), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5) y Coliformes termo tolerantes (NMP/100 mL), se comparó con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua de categoría 3, según lo establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM. Esta información se encuentra ubicada en el lado izquierdo de la figura respectiva, y se puede obtener más detalle en el anexo 5.

Para contrastar los valores de cada parámetro y el índice de calidad del agua entre los meses de estudio (noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril), se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, teniendo en cuenta las características fisicoquímicas y biológicas.

4.1. Potencial de hidrógeno

Respecto al Potencial de Hidrógeno (pH), en aguas naturales suele oscilar entre 6,00 y 8,50, aunque valores más bajos pueden presentarse en aguas diluidas con alto contenido de materia orgánica, y valores más altos en aguas eutróficas, salmueras subterráneas y lagos salados (WHO, 2011). El pH se ve influenciado por el contenido de sales y las variaciones en el volumen de agua. Durante la estación seca, tiende a aumentar debido a la concentración de sales, mientras que en la temporada de lluvias suele disminuir (Ruiz, 2012).

Tabla 13

Lecturas de pH en los cuatro puntos por cada muestreo, ECA para agua categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM y datos estadísticos

| Código de muestra | Unidad de medida | Mes de muestreo | | | | | | Valores | | |
|---|------------------|-----------------|-----------|-------|---------|-------|-------|---------|--------|-------|
| | | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mínimo | Máximo | Media |
| Rmuyu-01 | Unidad de pH | 7,64 | 8,11 | 7,28 | 7,50 | 6,52 | 6,60 | 6,52 | 8,11 | 7,28 |
| Rmuyu-02 | Unidad de pH | 7,88 | 8,09 | 8,00 | 7,69 | 6,81 | 6,93 | 6,81 | 8,09 | 7,57 |
| Rmuyu-03 | Unidad de pH | 7,78 | 8,07 | 6,80 | 7,37 | 6,89 | 6,55 | 6,55 | 8,07 | 7,24 |
| Rmuyu-04 | Unidad de pH | 7,72 | 8,07 | 6,85 | 6,91 | 6,91 | 6,80 | 6,80 | 8,07 | 7,21 |
| ECA pH para agua categoría 3 – D.S. N°004-2017-MINAM | | | | | | | | | | |
| D1: Riego de vegetales | Unidad de pH | 6,5-8,5 | | | | | | | | |
| D2: Bebida de animales | Unidad de pH | 6,5-8,4 | | | | | | | | |
| Datos estadísticos | | | | | | | | | | |
| Media global | | 7,32 | | | | | | | | |
| Desviación estándar | | 0,560 | | | | | | | | |
| p | | 0,617 | | | | | | | | |

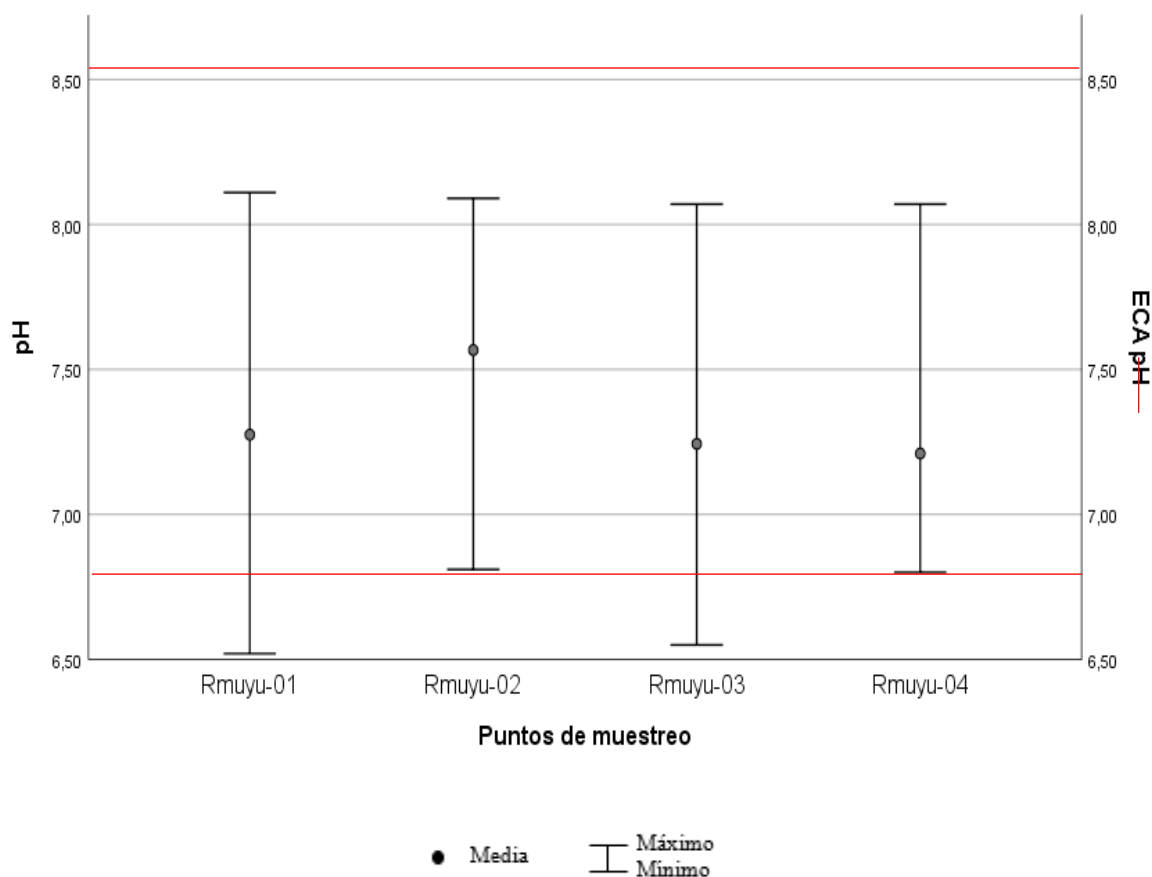
Con una probabilidad de error del 61,7 %, se deduce que no hay una diferencia significativa en el pH de las muestras de agua del río Muyurina entre los puntos de muestreo, dado que este porcentaje supera el nivel de significancia del 5%. Por lo tanto, no se observa una variación estadísticamente significativa en el pH de las muestras entre las diferentes ubicaciones de muestreo.

En la figura siguiente, que representa el pH, se exhiben los valores promedio registrados para cada punto de muestreo durante el período de investigación, oscilando entre 6,52 en la zona de muestreo Rmuyu-01 y 8,11 en la última zona Rmuyu-04. Estos promedios corresponden al lapso entre noviembre de 2018 y abril de 2019. El análisis estadístico realizado indica que no existen diferencias significativas en los valores de pH entre las diversas zonas de muestreo.

El intervalo de pH para aguas naturales generalmente varía entre 6,5 y 8,5, siendo mayormente ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Esta alcalinidad puede atribuirse a las características geológicas de la región, ya que algunas de las quebradas y la peniplanicie donde se localiza la ciudad de Ayacucho están compuestas por depósitos pleistocénicos y lacustres de areniscas arcillosas y carbonatadas. El río Muyurina, clasificado como cuerpo de agua de categoría 3, cumple con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos para este parámetro. Para el riego de vegetales, el pH debe estar dentro del rango de 6,5 a 8,5, mientras que para el consumo animal debe estar entre 6,5 y 8,4, valores que concuerdan con los encontrados en las cuatro zonas de muestreo.

Figura 12

Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar del pH de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses



4.2. Oxígeno Disuelto

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) en la categoría 3 establece que, para el riego de vegetales, el valor debe ser igual o superior a 4 mg/L, mientras que para la bebida de animales debe superar los 5 mg/L. En el caso del riego de vegetales, especialmente en el punto de muestreo Rmuyu-02, la mayoría de las lecturas de Oxígeno Disuelto no cumplen con estos estándares, lo cual se debe a la descarga de desagües provenientes de viviendas cercanas. Sin embargo, en el punto de muestreo Rmuyu-04, el cual se encuentra donde el río Muyurina se une con el río Niño Yucaes, se cumple con el ECA, ya que esta confluencia mejora las condiciones de Oxígeno Disuelto en el agua. Los resultados se detallan en la tabla 14 y la figura 13.

Tabla 14

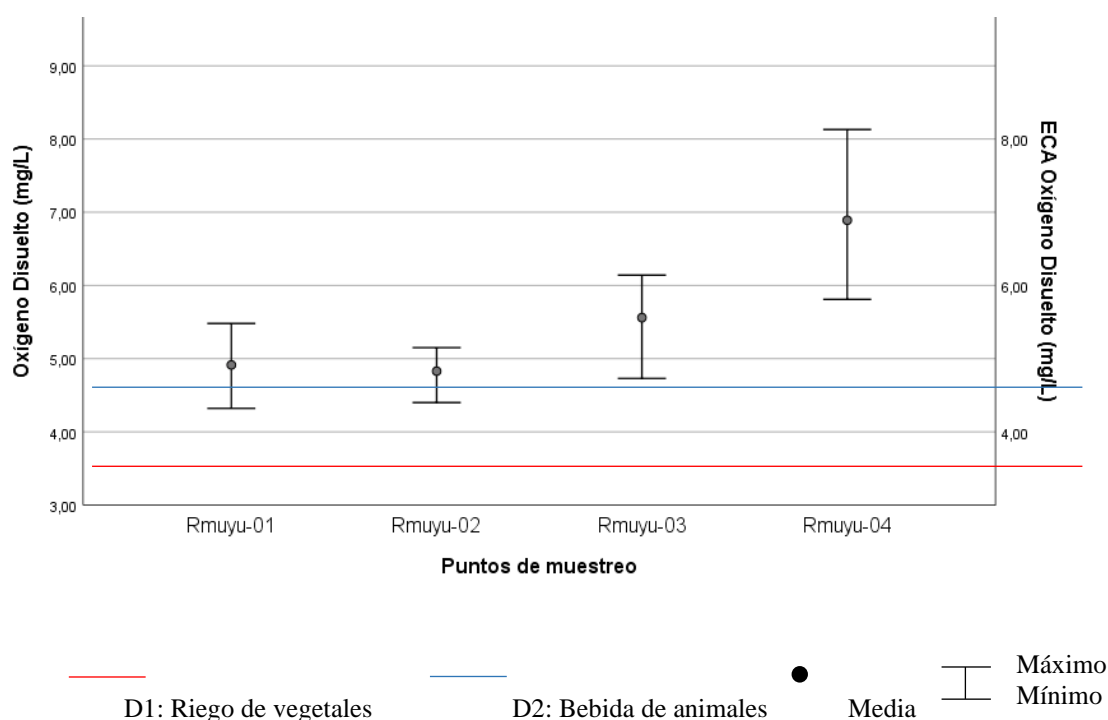
Lecturas de OD (mg/L) en los cuatro puntos por cada muestreo, ECA para agua categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM y datos estadísticos

| Código de muestra | Unidad de medida | Mes de muestreo | | | | | | Valores | | |
|--|------------------|-----------------|-----------|-------|---------|-------|-------|---------|--------|-------|
| | | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mínimo | Máximo | Media |
| Rmuyu-01 | mg/L | 4,48 | 4,81 | 4,32 | 4,99 | 5,48 | 5,40 | 4,32 | 5,48 | 4,91 |
| Rmuyu-02 | mg/L | 4,98 | 4,40 | 4,73 | 4,73 | 5,15 | 4,98 | 4,40 | 5,15 | 4,83 |
| Rmuyu-03 | mg/L | 6,14 | 5,06 | 5,89 | 4,73 | 5,81 | 5,73 | 4,73 | 6,14 | 5,56 |
| Rmuyu-04 | mg/L | 5,98 | 5,81 | 5,98 | 7,97 | 8,13 | 7,47 | 5,81 | 8,13 | 6,89 |
| ECA Oxígeno Disuelto (valor mínimo) para agua categoría 3 – D.S. N°004-2017-MINAM | | | | | | | | | | |
| D1: Riego de vegetales | mg/L | >=4 | | | | | | | | |
| D2: Bebida de animales | mg/L | >=5 | | | | | | | | |
| Datos estadísticos | | | | | | | | | | |
| Media global | | 5,55 | | | | | | | | |
| Desviación estándar | | 1,05 | | | | | | | | |
| p | | 0,002 | | | | | | | | |

Según los datos estadísticos de la tabla, con una probabilidad de error del 0,2 %, se concluye que el Oxígeno Disuelto (OD) de las muestras de agua del río Muyurina varía entre los puntos de muestreo, con un nivel de significancia por debajo del 5 %. Por lo tanto, estadísticamente se observa una diferencia en el Oxígeno Disuelto (OD) entre al menos alguno de los puntos de muestreo, lo que indica una diferencia significativa.

Figura 13

Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios del OD de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses y ECA para agua categoría 3



4.3. Variación de temperatura

La variación de temperatura investigada en este estudio se refiere a la diferencia entre la temperatura del entorno y la temperatura del agua del río Muyurina en cada uno de los puntos de muestreo, a lo largo de los seis meses analizados.

Con una probabilidad de error del 65,3 %, se concluye que la variación de temperatura (°C) en las muestras de agua del río Muyurina difiere entre los diversos puntos

de muestreo. No obstante, este nivel de error es considerablemente alto, ya que supera el umbral de significancia del 5 %. Por consiguiente, no se observa una diferencia significativa en la variación de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) entre los puntos de muestreo desde una perspectiva estadística.

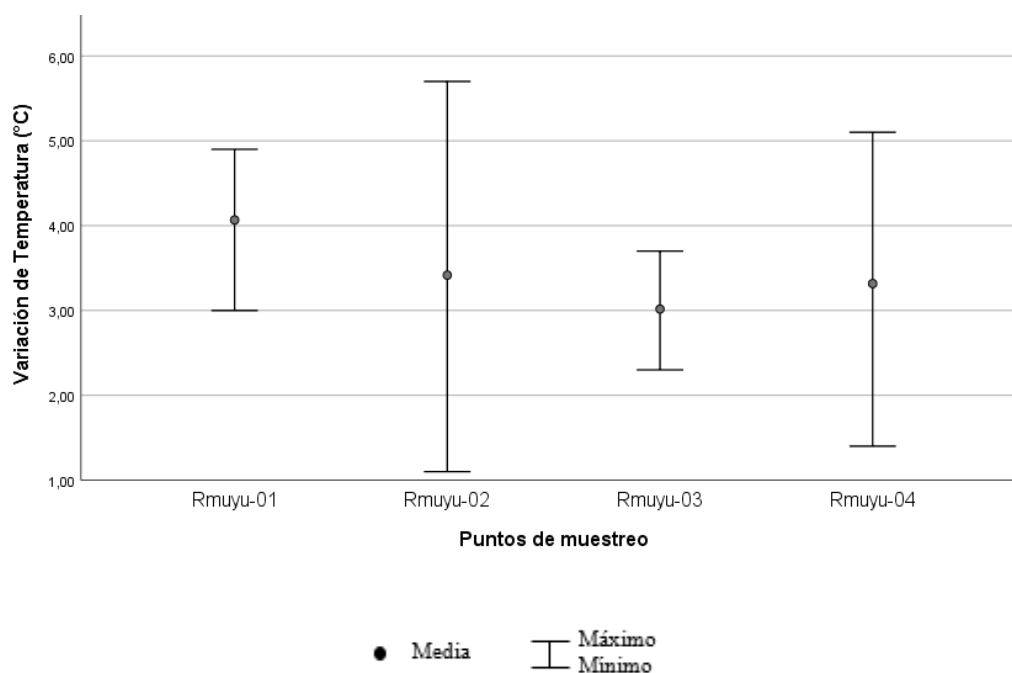
Tabla 15

Variación de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en los cuatro puntos por cada muestreo y datos estadísticos

| Código de muestra | Unidad de medida | Mes de muestreo | | | | | | Valores | | |
|---------------------|--------------------|-----------------|-----------|-------|---------|-------|-------|---------|--------|-------|
| | | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mínimo | Máximo | Media |
| Rmuyu-01 | $^{\circ}\text{C}$ | 4,9 | 4,3 | 3,0 | 4,4 | 3,8 | 4,0 | 3,00 | 4,94 | 4,07 |
| Rmuyu-02 | $^{\circ}\text{C}$ | 1,9 | 5,7 | 1,1 | 3,9 | 4,0 | 3,9 | 1,06 | 5,66 | 3,40 |
| Rmuyu-03 | $^{\circ}\text{C}$ | 3,2 | 3,4 | 2,7 | 2,3 | 2,8 | 3,7 | 2,29 | 3,70 | 3,01 |
| Rmuyu-04 | $^{\circ}\text{C}$ | 1,4 | 5,1 | 1,8 | 4,2 | 3,2 | 4,2 | 1,36 | 5,11 | 3,32 |
| Datos estadísticos | | | | | | | | | | |
| Media global | | 3,45 | | | | | | | | |
| Desviación estándar | | 1,174 | | | | | | | | |
| p | | 0,653 | | | | | | | | |

Figura 14

Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios de variación de temperatura de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses



4.4. Sólidos Disueltos Totales

La Figura 15 exhibe los valores recopilados del parámetro de Sólidos Disueltos Totales (SDT) expresados en mg/L en cada punto de muestreo durante el estudio. Estos valores se presentan como promedios y abarcan el período comprendido entre noviembre de 2018 y abril de 2019, variando desde 101,40 hasta 244,73 mg/L. El análisis estadístico revela que hay diferencias en los valores de Sólidos Disueltos Totales (SDT) entre las distintas zonas de muestreo. Los menores valores se consideran heterotróficas aerobias y oxidación química (Roldán & Ramírez, 2008) , sin embargo, según la figura podemos afirmar que los valores promedios son similares en las cuatro zonas de muestreo.

Tabla 16

Lecturas de SDT (mg/L) en los cuatro puntos por cada muestreo y datos estadísticos

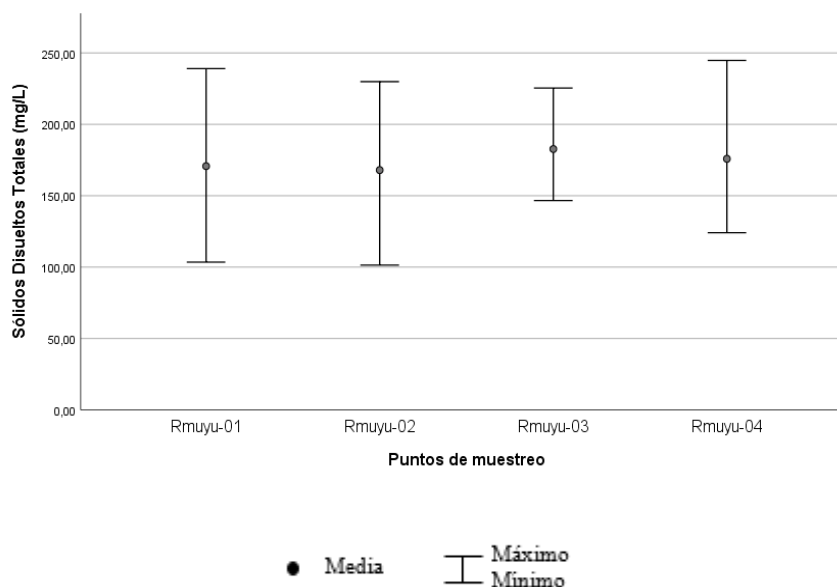
| Código de muestra | Unidad de medida | Mes de muestreo | | | | | | Valores | | |
|---------------------|------------------|-----------------|-----------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mínimo | Máximo | Media |
| Rmuyu-01 | mg/L | 239,00 | 223,70 | 185,70 | 168,70 | 103,50 | 103,50 | 103,50 | 239,00 | 170,68 |
| Rmuyu-02 | mg/L | 229,90 | 214,60 | 200,70 | 159,70 | 101,40 | 101,40 | 101,40 | 229,90 | 167,95 |
| Rmuyu-03 | mg/L | 225,40 | 212,80 | 215,90 | 146,60 | 147,80 | 147,80 | 146,60 | 225,40 | 182,72 |
| Rmuyu-04 | mg/L | 244,73 | 213,90 | 206,70 | 124,10 | 132,80 | 132,80 | 124,10 | 244,73 | 175,84 |
| Datos estadísticos | | | | | | | | | | |
| Media global | | 174,30 | | | | | | | | |
| Desviación estándar | | 48,726 | | | | | | | | |
| p | | 0,944 | | | | | | | | |

Con una probabilidad de error del 94,4 %, se observa que los Sólidos Disueltos Totales (SDT) en las muestras de agua del río Muyurina difieren entre los distintos puntos de muestreo, lo cual indica un alto nivel de error, ya que supera el nivel de significancia del 5 %. Por lo tanto, estadísticamente no se evidencia una diferencia significativa en los Sólidos

Disueltos Totales (SDT) entre los puntos de muestreo, es decir, no hay una diferencia notable.

Figura 15

Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios de SDT de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses



4.5. Turbidez

En la Figura 16, se presentan los datos de turbidez (UNT) recopilados durante la investigación, mostrando los valores promedio para cada zona de muestreo. Estos valores oscilan entre 2,0 UNT, el mínimo registrado en el punto de muestreo Rmuyu-01 en noviembre, y 174,0 UNT, el máximo observado en el mismo punto pero en marzo. Estos promedios se calcularon a lo largo del período de noviembre de 2018 a abril de 2019. La prueba estadística Kruskal-Wallis no reveló diferencias significativas en los valores de turbidez entre las zonas de muestreo en su conjunto. Sin embargo, al analizar cada punto de muestreo individualmente, se observan variaciones significativas según el mes de muestreo. Esto sugiere una asociación entre la turbidez del agua y la erosión de suelos y rocas, que a menudo contienen residuos orgánicos y constituyen la principal fuente de material en suspensión en la mayoría de los cuerpos de agua naturales, especialmente durante las épocas

de lluvia (Marin, 2015). Se destaca un incremento gradual en la turbidez durante los meses de marzo y abril, atribuido al proceso de erosión del suelo y a la presencia de sustancias orgánicas en suspensión.

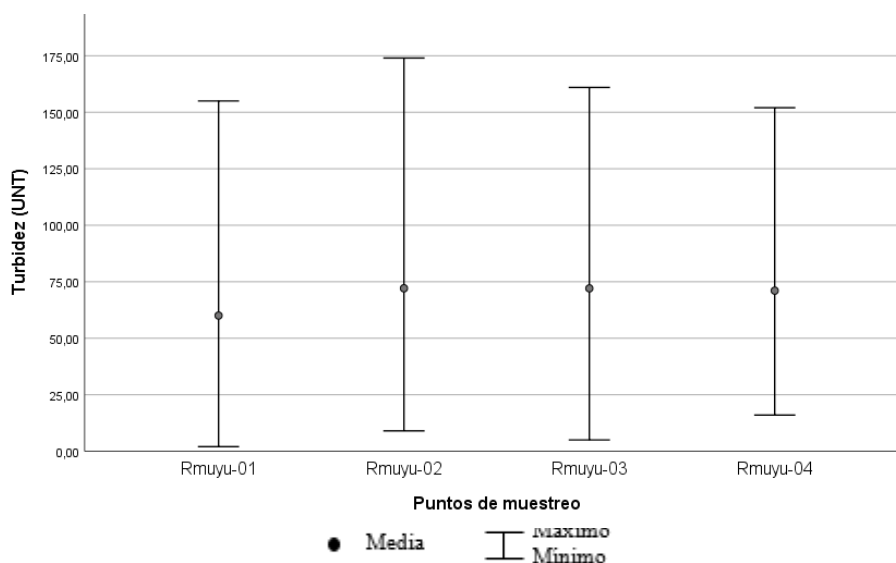
Tabla 17

Lecturas de turbidez (UNT) en los cuatro puntos por cada muestreo y datos estadísticos

| Código de muestra | Unidad de medida | Mes de muestreo | | | | | | Valores | | |
|---------------------|------------------|-----------------|-----------|-------|---------|--------|--------|---------|--------|-------|
| | | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mínimo | Máximo | Media |
| Rmuyu-01 | UNT | 2,00 | 3,70 | 19,44 | 28,10 | 152,00 | 155,00 | 2,00 | 155,00 | 60,04 |
| Rmuyu-02 | UNT | 9,00 | 30,80 | 32,70 | 26,10 | 174,00 | 160,00 | 9,00 | 174,00 | 72,10 |
| Rmuyu-03 | UNT | 5,00 | 33,00 | 48,50 | 26,90 | 161,00 | 158,00 | 5,00 | 161,00 | 72,07 |
| Rmuyu-04 | UNT | 16,00 | 38,00 | 45,10 | 24,20 | 151,00 | 152,00 | 16,00 | 152,00 | 71,05 |
| Datos estadísticos | | | | | | | | | | |
| Media global | | 68,81 | | | | | | | | |
| Desviación estándar | | 65,482 | | | | | | | | |
| p | | 0,877 | | | | | | | | |

Figura 16

Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios de turbidez de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses



4.6. Fosfatos

En la Figura 17, se presentan los datos relacionados con el parámetro de fosfatos, expresando los valores promedio obtenidos para cada zona de muestreo durante el período de investigación. Estos valores oscilan desde 0,2406 mg/L en el punto de muestreo Rmuyu-02 hasta 0,9428 mg/L en el punto de muestreo Rmuyu-01. Se destacan estos promedios calculados entre noviembre de 2018 y abril de 2019. La prueba estadística Kruskal-Wallis revela que los valores de fosfatos no presentan diferencias significativas entre las diversas zonas de muestreo. Según la literatura, las rocas ígneas son la principal fuente de este ion en aguas superficiales no contaminadas (Roldán & Ramirez, 2008), lo cual coincide con el hecho de que la ciudad de Ayacucho está situada sobre rocas de origen volcánico (INDECI, 2003). No obstante, como se observa en la Tabla 16, los valores más altos de fosfatos se registran en los puntos de muestreo Rmuyu-01 y Rmuyu-02. Es relevante mencionar que este último punto se ubica a 100 metros de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Totorá, donde los fosfatos presentes en las aguas residuales provienen principalmente de excreciones humanas y animales, así como del uso de detergentes y productos de limpieza (Figueruelo & Marino, 2004). Estas afirmaciones destacan la fuente predominante de fosfatos en nuestras aguas residuales. Para inhibir el crecimiento de las algunas algas los niveles de fosfato deben ser menores a 0,05 mg/L (Figueruelo & Marino, 2004).

Tabla 18 Fosfatos en los cuatro puntos por cada muestreo y datos estadísticos

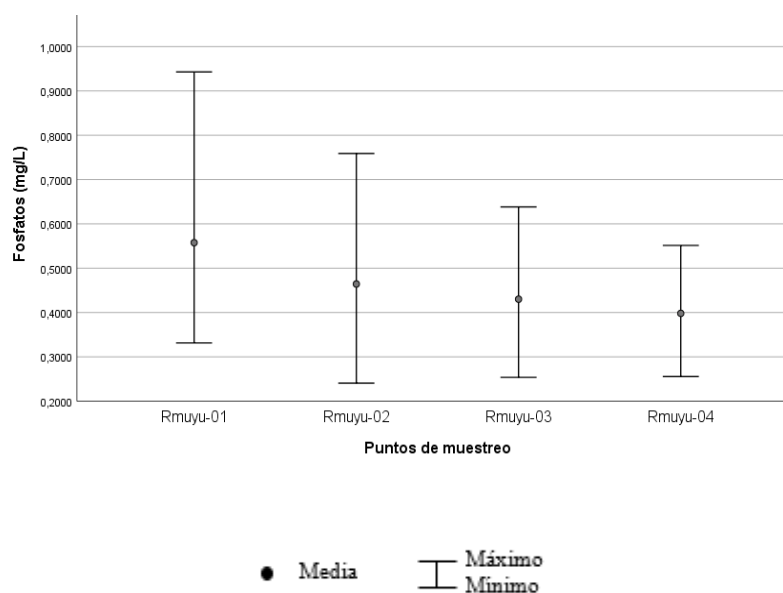
Fosfatos en los cuatro puntos por cada muestreo y datos estadísticos

| Código de muestra | Unidad de medida | Mes de muestreo | | | | | | Valores | | |
|-------------------|------------------|-----------------|-----------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mínimo | Máximo | Media |
| Rmuyu-01 | mg/L | 0,4577 | 0,9371 | 0,9428 | 0,3406 | 0,3360 | 0,3314 | 0,3314 | 0,9428 | 0,5576 |
| Rmuyu-02 | mg/L | 0,4868 | 0,7577 | 0,7588 | 0,2977 | 0,2406 | 0,2446 | 0,2406 | 0,7588 | 0,4644 |
| Rmuyu-03 | mg/L | 0,5051 | 0,6377 | 0,6382 | 0,2731 | 0,2537 | 0,2731 | 0,2537 | 0,6382 | 0,4302 |

| Código de muestra | Unidad de medida | Mes de muestreo | | | | | | Valores | | |
|---------------------|------------------|-----------------|-----------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mínimo | Máximo | Media |
| Rmuyu-04 | mg/L | 0,4737 | 0,4954 | 0,5514 | 0,3354 | 0,2554 | 0,2771 | 0,2554 | 0,5514 | 0,3981 |
| Datos estadísticos | | | | | | | | | | |
| Media global | | 0,4633 | | | | | | | | |
| Desviación estándar | | 0,218 | | | | | | | | |
| p | | 0,766 | | | | | | | | |

Figura 17

Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios de fosfatos de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses



4.7. Nitratos

En la Figura 18, se presentan los datos relacionados con el parámetro de nitratos, mostrando los valores promedio obtenidos para cada zona de muestreo durante el período de investigación. Estos valores varían desde 0,0005 mg/L hasta 0,2848 mg/L en el punto de muestreo Rmuyu-03, y corresponden al período calculado entre noviembre de 2018 y abril de 2019. Según la prueba estadística Kruskal-Wallis, no se observan diferencias significativas en los valores de nitratos entre las diferentes zonas de muestreo. Se espera que la concentración normal de nitratos en aguas superficiales sea menor a 1,0 mg/L (Roldán &

Ramírez, 2008), lo cual se confirma con los valores obtenidos en todas las zonas de muestreo. Sin embargo, valores por encima de este promedio indicarían contaminación, ya sea por desechos domésticos, de animales o por la escorrentía.

Cabe mencionar que una forma de adición de nitratos a los cuerpos de agua superficiales es mediante la mineralización de la urea proveniente de la orina de los mamíferos (Stainer et al., 2007).

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 19 y en la figura 18.

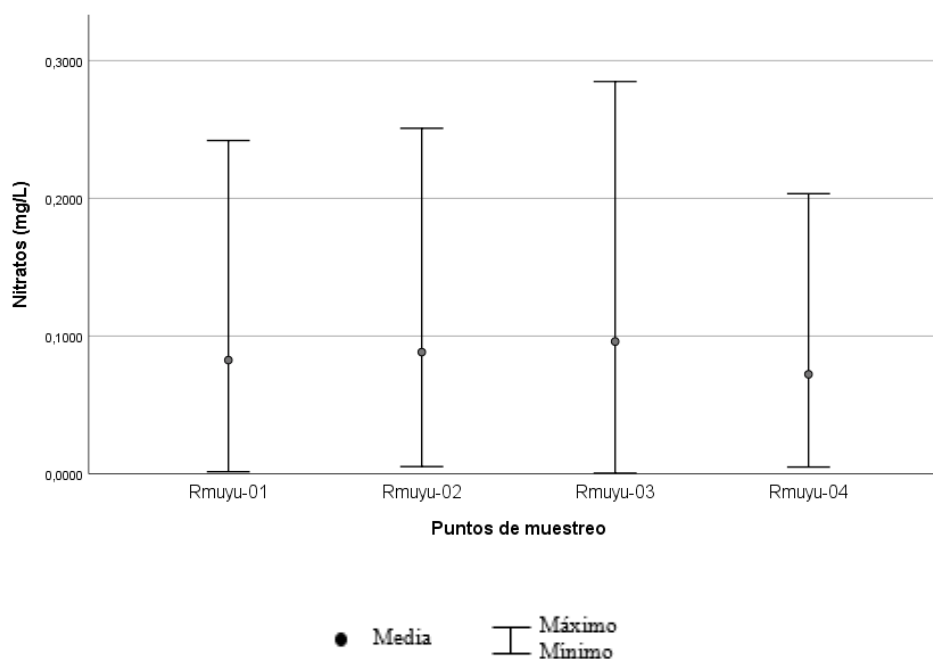
Tabla 19

Nitratos en los cuatro puntos por cada muestreo y datos estadísticos

| Código de muestra | Unidad de medida | Mes de muestreo | | | | | | Valores | | |
|---------------------|------------------|-----------------|-----------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mínimo | Máximo | Media |
| Rmuyu-01 | mg/L | 0,0062 | 0,0015 | 0,0025 | 0,0025 | 0,2420 | 0,2405 | 0,0015 | 0,2420 | 0,0825 |
| Rmuyu-02 | mg/L | 0,0106 | 0,0052 | 0,0074 | 0,0062 | 0,2509 | 0,2499 | 0,0052 | 0,2509 | 0,0884 |
| Rmuyu-03 | mg/L | 0,0082 | 0,0007 | 0,0010 | 0,0005 | 0,2811 | 0,2848 | 0,0005 | 0,2848 | 0,0960 |
| Rmuyu-04 | mg/L | 0,0087 | 0,0059 | 0,0049 | 0,0087 | 0,2019 | 0,2034 | 0,0049 | 0,2034 | 0,0722 |
| Datos estadísticos | | | | | | | | | | |
| Media global | | 0,0848 | | | | | | | | |
| Desviación estándar | | 0,116 | | | | | | | | |
| p | | 0,700 | | | | | | | | |

Figura 18

Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios de nitratos de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses

**4.8. Demanda Biológica de Oxígeno**

En relación con el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), se presentaron los valores promedio obtenidos para cada zona de muestreo durante el periodo investigado. Estos valores oscilan desde 22 mg O_2/L hasta 70 mg O_2/L en el punto de muestreo Rmuyu-01, y corresponden al periodo comprendido entre noviembre de 2018 y abril de 2019. Según los resultados de la prueba estadística Kruskal-Wallis, la probabilidad de error (71 %) supera el nivel de significancia del 5 %. Por consiguiente, se concluye que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) de las muestras no presenta diferencias significativas entre las estaciones de muestreo; es decir, no se observa una variación significativa en este parámetro en función del momento en que se realizaron los muestreos.

Tabla 20

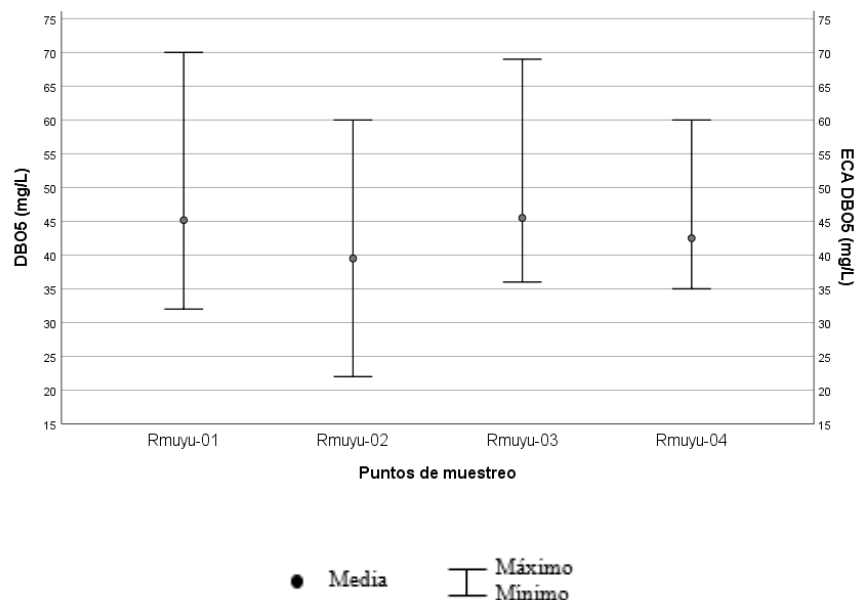
DBO5 (mg/L) en los cuatro puntos por cada muestreo, ECA para agua categoría 3 del

D.S. N°004-2017-MINAM y datos estadísticos

| Código de muestra | Unidad de medida | Mes de muestreo | | | | | | Valores | | |
|--|------------------|-----------------|-----------|-------|---------|-------|-------|---------|--------|-------|
| | | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mínimo | Máximo | Media |
| Rmuyu-01 | mg/L | 32 | 37 | 42 | 70 | 42 | 48 | 32 | 70 | 45,17 |
| Rmuyu-02 | mg/L | 22 | 40 | 42 | 60 | 38 | 35 | 22 | 60 | 39,50 |
| Rmuyu-03 | mg/L | 38 | 36 | 43 | 69 | 41 | 46 | 36 | 69 | 45,50 |
| Rmuyu-04 | mg/L | 40 | 35 | 44 | 60 | 36 | 40 | 35 | 60 | 42,50 |
| ECA DBO₅ para agua categoría 3 – D.S. N°004-2017-MINAM | | | | | | | | | | |
| D1: Riego de vegetales | mg/L | 15 | | | | | | | | |
| D2: Bebida de animales | mg/L | 15 | | | | | | | | |
| Datos estadísticos | | | | | | | | | | |
| Media global | | 43,17 | | | | | | | | |
| Desviación estándar | | 11,278 | | | | | | | | |
| p | | 0,707 | | | | | | | | |

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es ampliamente reconocida como el indicador principal para evaluar el contenido de materia orgánica en muestras de agua (Sierra, 2011). En la figura, se observa un aumento gradual en los niveles de DBO. Como señala (Gil, 2006), el movimiento del agua durante su curso permite que se produzca un proceso de reoxigenación, lo que conlleva a una reducción de la carga contaminante mediante la biooxidación y la decantación. Este fenómeno se evidencia claramente en el punto de muestreo Rmuyu-04, donde el río Muyurina se une con el río Niño Yucaes. En términos generales, los cuatro puntos de muestreo muestran valores elevados de DBO₅, los cuales están estrechamente relacionados con los niveles de coliformes fecales obtenidos en las mismas estaciones de muestreo.

Figura 19 Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios de la DBO5 de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses y ECA para agua categoría 3



Es importante señalar que el segundo punto de muestreo (Rmuyu-02) se ubica a una distancia de 1325 metros río abajo del primer punto de muestreo, que corresponde al Centro Poblado Viña Chiquita. En esta zona de muestreo, también se observa un vertimiento directo de aguas residuales domésticas al río, tal como se pudo constatar durante las salidas realizadas para la toma de muestras. En relación a esto, según el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el agua, en la categoría 3, se establece que para el riego de vegetales y el suministro de agua a animales, la concentración de oxígeno disuelto debe ser menor o igual a 15 mg O₂/L. En consecuencia, las muestras de agua del río Muyurina no cumplirían con los estándares establecidos en los ECA en cuanto a este parámetro.

4.9. Coliformes fecales

Los datos recopilados para cada zona de muestreo durante la investigación se presentaron como valores promedio, los cuales varían desde Log NMP/100 mL de 2,3, equivalente a 200 NMP/100 mL en el punto de muestreo Rmuyu-01, hasta Log NMP/100

mL de 4,95, equivalente a 90000 NMP/100 mL en el punto de muestreo Rmuyu-04. Estos valores están basados en el promedio logarítmico calculado durante el período comprendido entre noviembre de 2018 y abril de 2019. Dado que la probabilidad de error (88 %) obtenida mediante la prueba estadística Kruskal-Wallis supera el nivel de significancia del 5 %, podemos concluir que no hay diferencias significativas en cuanto al parámetro de coliformes fecales (NMP/100 mL) entre las muestras tomadas en los diferentes puntos de muestreo. En otras palabras, no se observa una variación significativa en este parámetro entre los puntos de muestreo.

Los coliformes fecales son introducidos al medio ambiente a través de las heces de humanos y animales, lo que indica su origen fecal (Torres, 2009). En términos generales, se observa un aumento gradual en los niveles de coliformes fecales en todas las zonas de muestreo, alcanzando valores muy altos de hasta 90000 NMP/100mL. Estos niveles elevados también son atribuibles a la descarga directa de aguas residuales al río Muyurina.

Tabla 21

Coliformes fecales (NMP/100 mL) en los cuatro puntos por cada muestreo, ECA para agua categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM y datos estadísticos

| Código de muestra | Unidad de medida | Mes de muestreo | | | | | | Valores | | | |
|---|------------------|--|-----------|-------|---------|-----------------------------------|-------|---------|--------|-------|--|
| | | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mínimo | Máximo | Media | |
| Rmuyu-01 | NMP/100 mL | 1100 | 30000 | 15000 | 300 | 200 | 205 | 200 | 30000 | 7801 | |
| Rmuyu-02 | NMP/100 mL | 1300 | 80000 | 15000 | 300 | 240 | 220 | 220 | 80000 | 16177 | |
| Rmuyu-03 | NMP/100 mL | 800 | 90000 | 16000 | 800 | 300 | 280 | 280 | 90000 | 18030 | |
| Rmuyu-04 | NMP/100 mL | 2400 | 16000 | 16000 | 300 | 300 | 300 | 300 | 16000 | 5883 | |
| ECA Coliformes fecales para agua categoría 3 – D.S. N°004-2017-MINAM | | | | | | | | | | | |
| D1: Riego de vegetales | NMP/100 mL | Agua para riego no restringido (c): 1000 | | | | Agua para riego restringido: 2000 | | | | | |
| D2: Bebida de animales | NMP/100 mL | 1000 | | | | | | | | | |
| Datos estadísticos | | | | | | | | | | | |
| Media global | | 11973 | | | | | | | | | |
| Desviación estándar | | 23945,998 | | | | | | | | | |
| p | | 0,879 | | | | | | | | | |

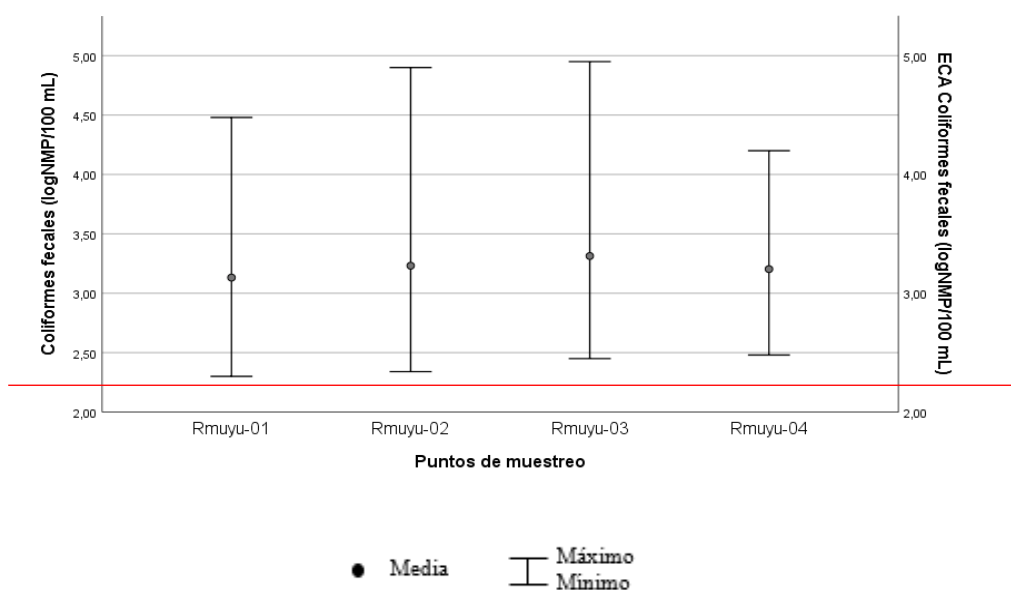
Nota. riego no restringido (c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales.

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el agua, en la categoría 3, establece que, para el riego no restringido, el valor de coliformes fecales debe ser inferior a 1000 NMP/100mL, o equivalente a 3 log NMP/100mL. Para el riego restringido, el límite es de 2000 NMP/100mL, o equivalente a 3,30 log NMP/100mL. En cuanto al suministro de agua para animales, el valor permitido es menor a 1000 NMP/100mL, o equivalente a 3 log NMP/100mL. En resumen, los resultados muestran que el agua de todas las zonas de muestreo, en promedio, no cumple con los estándares establecidos en los ECA para este parámetro.

Con la finalidad de poder visualizar los resultados de coliformes fecales se aplicó logaritmo a cada valor para cada una de las estaciones y fechas muestreadas, el cual se presenta en la siguiente figura.

Figura 20

Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios de coliformes fecales de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses y ECA para agua categoría 3



4.10. Índice de Calidad de Agua

En la Figura 21 se presentan los valores del Índice de Calidad del Agua (WQI - NSF), los cuales fueron calculados para cada zona de muestreo durante el período de investigación y se expresaron como valores promedio. Estos valores varían desde 44,62 (indicando una calidad mala) en la zona de muestreo Rmuyu-02 hasta 68,09 (indicando una calidad regular) en la zona de muestreo Rmuyu-04. Dichos valores corresponden al promedio calculado entre noviembre de 2018 y abril de 2019.

Tabla 22

ICA en los cuatro puntos por cada muestreo y datos estadísticos

| Código de muestra | Unidad de medida | Mes de muestreo | | | | | | Valores | | |
|---------------------|------------------|-----------------|-----------|-------|---------|-------|-------|---------|--------|-------|
| | | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mínimo | Máximo | Media |
| Rmuyu-01 | ICA | 49,33 | 48,81 | 49,30 | 50,30 | 50,98 | 53,03 | 48,81 | 53,03 | 50,29 |
| Rmuyu-02 | ICA | 44,62 | 46,42 | 48,83 | 50,27 | 50,66 | 51,01 | 44,62 | 51,01 | 48,64 |
| Rmuyu-03 | ICA | 60,33 | 60,55 | 60,95 | 61,13 | 61,72 | 63,70 | 60,33 | 63,70 | 61,40 |
| Rmuyu-04 | ICA | 63,72 | 64,08 | 64,02 | 66,16 | 66,77 | 68,09 | 63,72 | 68,09 | 65,47 |
| Datos estadísticos | | | | | | | | | | |
| Media global | | 56,45 | | | | | | | | |
| Desviación estándar | | 7,514 | | | | | | | | |
| p | | 0,0002048 | | | | | | | | |

La prueba estadística (Kruskal - Wallis) aplicada manifiesta que los valores obtenidos del Índice de Calidad de Agua en las zonas de muestreo son diferentes, esto responde a que el porcentaje de error (0,021 %) está por debajo del nivel de significancia de 5 %.

Estos hallazgos guardan similitud con otros estudios realizados en diferentes cuerpos de agua. Por ejemplo, en el caso del río Loa en Chile, se informó que el Índice de Calidad del Agua (WQI - NSF) varía desde niveles buenos hasta regulares, y se señala que el deterioro está relacionado principalmente con el nivel de Oxígeno Disuelto (Díaz, 2010).. En el río La Soledad en Honduras, el WQI - NSF oscila entre buena y regular, y los factores que contribuyen a este deterioro son los coliformes fecales, nitratos y fosfatos (Javier, 2003).

En el río Amajac en México, se observa una variación del WQI - NSF de regular a muy mala (Amado et al., 2006). En el caso del río Cauca y sus afluentes, se registra un WQI - NSF que va de regular a malo (CARVC, 2004). Por otro lado, en el río Blanco se observa que el WQI - NSF varía de bueno a regular en su lugar de desembocadura (Yungán, 2010). En el caso del río Muyurina, se presenta una situación similar a las mencionadas anteriormente, donde el WQI - NSF varía de regular a malo, principalmente debido a la variación de parámetros como el oxígeno disuelto, coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos y fosfatos.

Figura 21

Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios del ICA de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses

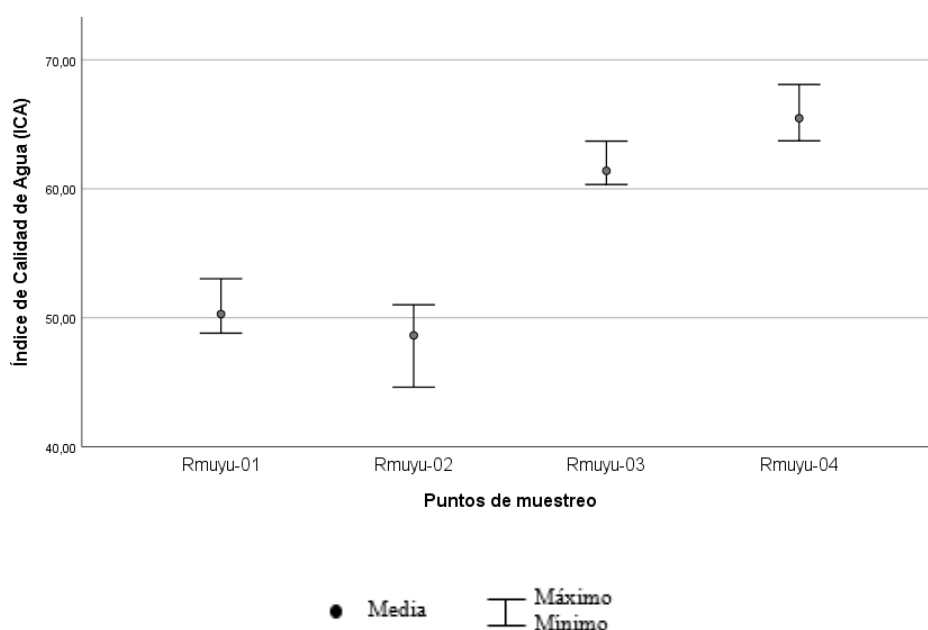


Tabla 23

Clasificación del ICA según los resultados obtenidos

| Punto de muestreo | Calidad de agua | Color | Valor |
|-------------------|-----------------|-------|---------|
| Rmuyu-01 | Mala | | 26 a 50 |
| Rmuyu-02 | Mala | | 26 a 50 |

| Punto de muestreo | Calidad de agua | Color | Valor |
|-------------------|-----------------|-------|---------|
| Rmuyu-03 | Regular | | 51 a 70 |
| Rmuyu-04 | Regular | | 51 a 70 |

Fuente: (Bonilla, y otros, 2010)

El punto de muestreo Rmuyu-01 se localizó a una distancia de 100 metros río abajo desde la confluencia de los ríos Alameda y Huatatas. Se observó que estos dos ríos ya traían consigo una carga de vertidos contaminantes, lo que se refleja en un Índice de Calidad del Agua (ICA) clasificado como "malo", como lo indican los resultados obtenidos en esta investigación. Un estudio realizado por Marco A. Espinoza en 2015 señaló que las aguas del río Alameda, en la zona media de la microcuenca, presentaban una calidad regular, mientras que en la zona baja de la microcuenca su calidad se consideraba de mala calidad (Espinoza, 2015). Por otro lado, respecto al río Huatatas, una investigación llevada a cabo por Arones et al. en 2018, indicó que la calidad del agua en la microcuenca del río Huatatas, en la región de Ayacucho, clasificaba como buena en la parte alta (RHuat-01) durante la época de estiaje y lluvias. Sin embargo, en las otras estaciones, variaba de regular a buena, mostrando un ligero deterioro a medida que avanzaba su recorrido hasta la estación RHuat-03 (Arones et al., 2018).

En relación con el punto de muestreo Rmuyu-02, se ubicó a una distancia de 1325 metros río abajo desde el primer punto de muestreo, que corresponde al Centro Poblado Viña Chiquita. Es importante destacar que, en esta segunda estación, existen viviendas en los alrededores del río Muyurina, las cuales descargan aguas residuales. Además, se observó que el establecimiento "Viña Chiquita" vierte sus desagües directamente al río Muyurina, lo que resulta en un Índice de Calidad del Agua (ICA) clasificado como "malo".

El tercer punto de muestreo está ubicado antes del puente del río Muyurina, donde no se registraron vertidos contaminantes en los alrededores. Los resultados de esta

investigación muestran una disminución en la contaminación en esta área, lo que se refleja en un Índice de Calidad del Agua clasificado como "buena". Lo mismo ocurre en la cuarta estación, Rmuyu-04, donde incluso se registra un Índice de Calidad del Agua más alto en comparación con los otros cuatro puntos de muestreo considerados. Esto podría atribuirse al hecho de que esta área es donde se unen el río Muyurina y el río Niño Yucaes, lo que mejora considerablemente la calidad ambiental en el cuerpo de agua.

Cabe mencionar que de manera resumida en los anexos 6 y 7 se puede observar los datos obtenidos in situ y resultados obtenidos de laboratorios en época de estiaje.

4.11. Propuesta de mejora para mitigar la contaminación ambiental

En relación con la propuesta para mejorar el Índice de Calidad del Agua del río Muyurina, es importante comprender la calidad del agua desde diferentes perspectivas. En primer lugar, se puede entender la calidad desde un punto de vista funcional, como la capacidad inherente del agua para satisfacer los usos previstos. Desde una perspectiva ambiental, se refiere a las condiciones necesarias para mantener un ecosistema equilibrado y cumplir con objetivos específicos de calidad (calidad ecológica). También se puede considerar como el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas que la definen. En este contexto, nos centraremos en la última consideración, ya que el Índice de Calidad del Agua (ICA) tiene en cuenta parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Dada la complejidad de adaptar la calidad del agua a sus diversos usos en el contexto global actual, a veces resulta desafiante. Esta situación destaca la importancia de caracterizar la calidad natural del agua y establecer objetivos de calidad en los tramos de los ríos. Es crucial señalar que las autoridades locales y regionales desempeñan un papel fundamental en este proceso. Tienen la responsabilidad de implementar un régimen sancionador para aquellos que vierten contaminantes al río Muyurina, pero también deben tomar medidas para limitar la contaminación en su origen y sensibilizar a la población sobre los impactos a corto

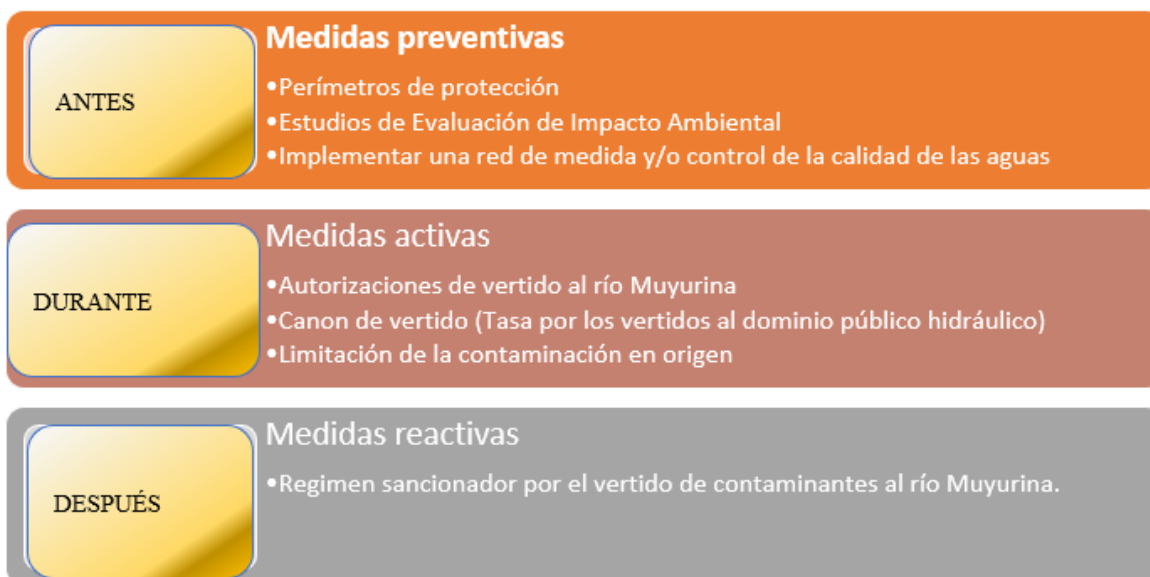
y largo plazo de la contaminación de los ríos. A continuación, se presentan medidas generales para mejorar el Índice de Calidad del Agua del río Muyurina, así como la posibilidad de aplicarlas en otros ríos que presenten resultados similares en su Índice de Calidad del Agua.

A continuación, vamos a describir respecto a la red de medida y/o control que está dentro de las medidas preventivas y que consideramos que es una medida bastante interesante que se viene trabajando en países europeos con los siguientes objetivos:

- Describir las condiciones actuales de la calidad de las aguas.
- Analizar las tendencias a largo plazo.
- Identificar los factores que afectan a la calidad de las aguas.

Figura 22

Actuaciones para la protección de la calidad de aguas



La creación de una red de monitoreo de la calidad del agua no se limita únicamente a determinar la ubicación de los puntos de muestreo. También implica establecer programas de control de calidad del agua, en los cuales se debe definir el objetivo principal del muestreo, la población a ser muestreada, la precisión y el intervalo de confianza de los análisis, el número de muestras a obtener en cada caso y la frecuencia de muestreo. Estos

programas permiten evaluar la efectividad de las políticas ambientales implementadas, los efectos de los cambios en el uso del suelo y las actividades productivas en la calidad del recurso, así como caracterizar estadísticamente la contaminación y evaluar la frecuencia con la que se exceden los estándares de calidad asignados para los diferentes usos del agua.

La idoneidad del agua para satisfacer diversos usos, como abastecimiento doméstico, recreación, vida acuática, actividades industriales y riego, generalmente se evalúa según si los valores de los diferentes parámetros de calidad muestreados superan ciertos límites establecidos en un período de tiempo determinado. Por este motivo, las estaciones que proporcionan regularmente esta información se ubican en tramos de ríos donde el agua se utiliza para satisfacer diferentes propósitos. En España, existen ejemplos de este tipo de redes, como las COAS (Control Oficial de Abastecimientos), que supervisan los suministros urbanos y realizan análisis de potabilidad, y la Red Ictiofauna, que evalúa la idoneidad del agua para la vida piscícola en 140 tramos de río. También se ha utilizado ampliamente en España la metodología de los Índices de Calidad General (ICG) del agua, que busca definir, mediante una escala numérica simple de 0 a 100, el nivel de calidad general de un tramo fluvial basado en 23 parámetros analíticos. En este caso, los puntos de muestreo deben seleccionarse de manera que representen estadísticamente la calidad de la red fluvial de una región, abarcando desde tramos altamente contaminados hasta aquellos de excelente calidad. En España, la red COCA (Control Oficial de la Calidad del Agua) ha cumplido este objetivo al muestrear periódicamente los parámetros utilizados para calcular los índices de calidad general.

Las estaciones de esta red supervisan un conjunto de 40 parámetros, que incluyen la temperatura, el oxígeno disuelto, la DBO₅, entre otros. Estas estaciones están organizadas en tres categorías principales, diferenciadas principalmente por la frecuencia con la que se realizan las mediciones o análisis de los cuatro grupos de parámetros, que varían desde

mediciones mensuales, trimestrales, semestrales, hasta anuales, como se detalla en la tabla 24.

Tabla 24

Grupos de parámetros controlados por la red COCA

| Grupo A | Grupo B | Grupo C | Grupo D |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-----------|
| Caudal | Sólidos disueltos | Sílice | Arsénico |
| Temperatura | Cloruros | Grasas | Cobre |
| Oxígeno disuelto | Sulfatos | Cianuros | Hierro |
| Sólidos en suspensión | Calcio | Fenoles | Manganeso |
| pH | Magnesio | Fluoruros | Plomo |
| Conductividad | Sodio | Cadmio | Zinc |
| DQO | Potasio | Cromo hexavalente | Antimonio |
| DBO5 | Fosfatos | Mercurio | Níquel |
| Coliformes totales | Nitratos | | Selenio |
| | Nitritos | | |
| | Amoniaco | | |
| | Carbonatos | | |
| | Bicarbonatos | | |
| | Detergentes | | |

Fuente: (Ministero de Medio Ambiente, 2000)

Tabla 25

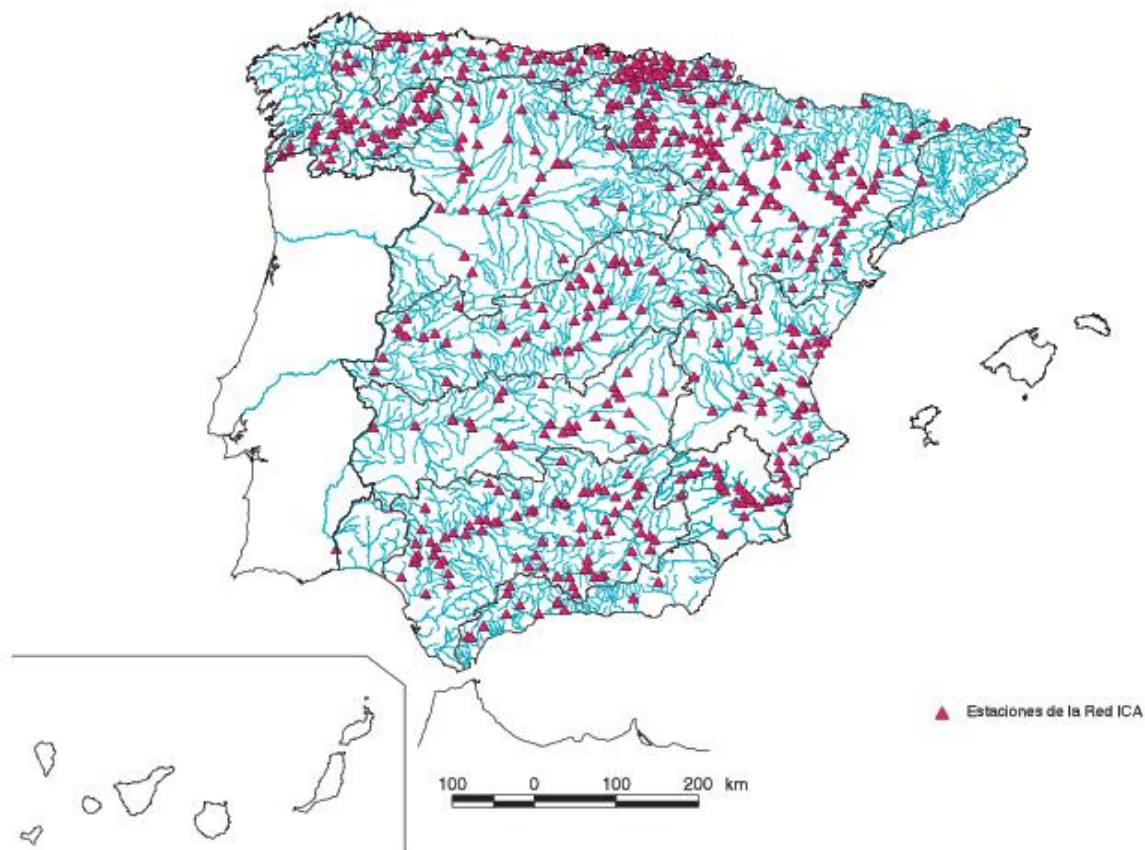
Frecuencia de muestreo de la red COCA

| Tipo de estación | Grupo de parámetros | | | |
|------------------|---------------------|------------|------------|------------|
| | A | B | C | D |
| Normal | Mensual | Semestral | Anual | Anual |
| Preferente | Mensual | Trimestral | Trimestral | Trimestral |
| Especial | Mensual | Mensual | Mensual | Mensual |

Fuente: (Ministero de Medio Ambiente, 2000)

Figura 23

Mapa de Estaciones de muestreo periódico de la red ICA en funcionamiento



Fuente: (Ministero de Medio Ambiente, 2000)

La figura 24 muestra las estaciones convencionales de muestreo sistemático y periódico de esta Red que producen información continua de algunos parámetros de calidad, y la transmiten en tiempo real a una serie de centros de control y de decisión.

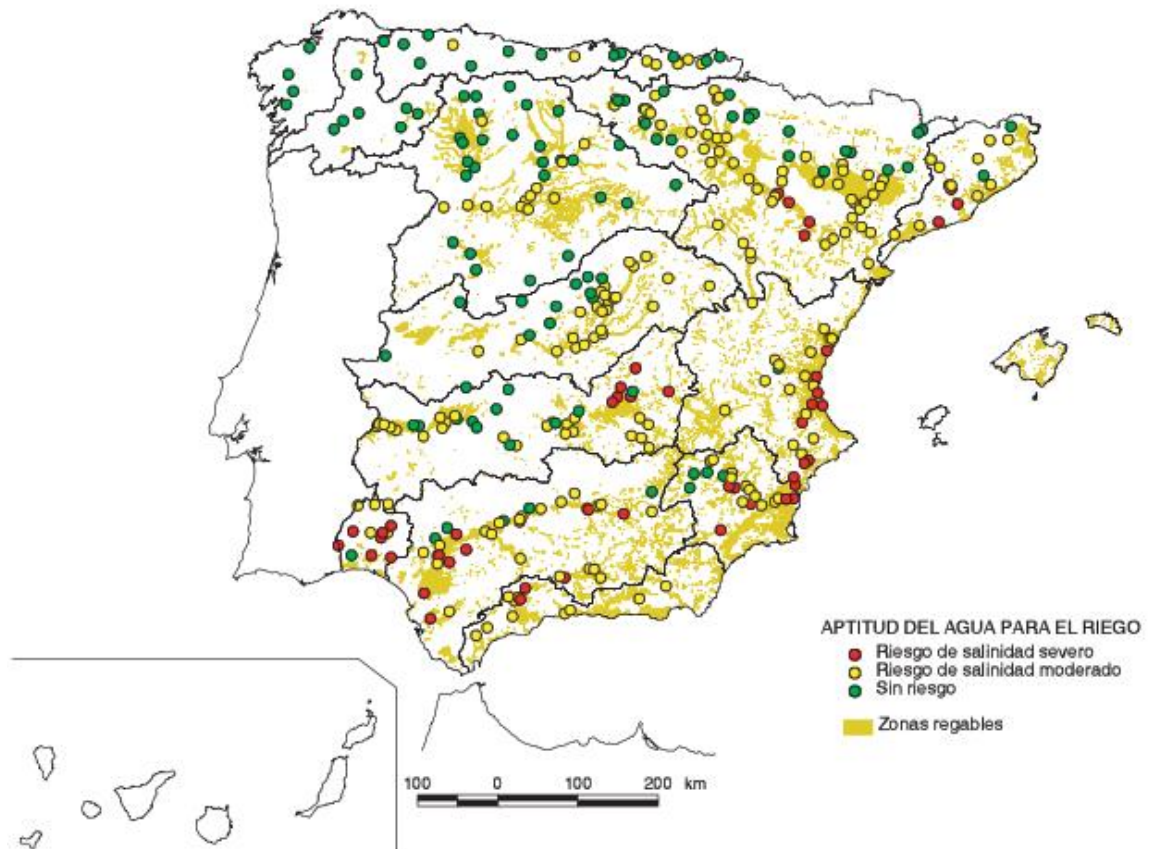
Asimismo, se cuenta con información de la aptitud media del agua para el regadío, el cual se presenta en la figura 24.

Es importante destacar que los resultados presentados ofrecen una visión completa de la calidad del agua, proporcionando información valiosa sobre la idoneidad potencial de los ríos españoles para diferentes usos. Esto representa un avance significativo en nuestra comprensión de la situación actual, orientando acciones para mejorar el Índice de Calidad

del Agua (ICA) en nuestros ríos, los cuales desempeñan un papel crucial en actividades económicas como la agricultura y son vitales para la vida de numerosos organismos.

Figura 24

Mapa de aptitud del agua para el regadío



Fuente: (Ministero de Medio Ambiente, 2000)

Conclusiones

- 1) El Índice de Calidad del Agua (ICA) promedio de la microcuenca del río Muyurina de la provincia de Huamanga de la Región de Ayacucho en las estaciones de Rmuy-01 y Rmuy-02 es mala, en las estaciones Rmuy-03 y Rmuy-04 es regular, en el periodo de noviembre de 2018 a abril de 2019.
- 2) Para el cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA) se evaluaron 9 parámetros, se consideraron 4 puntos de muestreos en el recorrido de río Muyurina, en el periodo de noviembre de 2018 a abril de 2019, realizando en total 24 muestreos. Para el análisis de resultados se efectuó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para cada parámetro y por punto de muestreo para su comparación. Los valores media global de cada parámetro son: pH = 7,32; Oxígeno Disuelto = 5,55 mg/L; variación de temperatura = 3,45 °C; Sólidos Totales Disueltos (STD) = 174,30 mg/L; Turbidez = 68,81 UNT; Fosfatos = 0,4633 mg/L; Nitratos = 0,0848 mg/L; DBO₅ = 43,17 mg/L; Coliformes fecales = 11973 NMP/100 mL.
- 3) Los valores del Índice de Calidad de Agua (ICA) se configuran en una escala de 0 a 100, cuyos rangos de clasificación son: 0 a 25 (pésima), 26 a 50 (mala), 51 a 70 (regular), 71 a 90 (buena) y 91 a 100 (excelente). En este sentido, el ICA de la zona de muestreo 1 (Rmuyu-01) es 50,29; de la zona de muestreo 2 (Rmuyu-02) es 48,64, zona de muestreo 3 (Rmuyu-03) es 61,40 y de zona de muestreo 4 (Rmuyu-04) es 65,47. Según la clasificación del Índice de Calidad de Agua (ICA) resultó que la zona de muestreo Rmuyu-01 y Rmuyu-02 tienen la clasificación de calidad “mala”, por otra parte, las zonas de muestreo Rmuyu-03 y Rmuyu-04 poseen la clasificación de calidad “regular”.
- 4) La propuesta de mejora del ICA del río Muyurina se configuró en medidas preventivas (perímetros de protección, Estudios de Evaluación de Impacto

Ambiental e implementar una red de medida y/o control de la calidad de las aguas), medidas activas (Autorizaciones de vertido al río Muyurina, canon de vertido, limitación de la contaminación en origen) y medidas reactivas (régimen sancionador por el vertido de contaminantes al río Muyurina).

Recomendaciones

Se recomienda ampliar la evaluación de parámetros fisicoquímicos, como la dureza, los nitritos y el amoníaco, así como de parámetros microbiológicos, que incluyan la presencia de mohos, levaduras, formas parasitarias y organismos acuáticos de vida libre, como algas, protozoos, copépodos, rotíferos y nemátodos en todas sus etapas evolutivas. Esto permitiría obtener una evaluación más precisa de la calidad ambiental del río Muyurina.

Es fundamental realizar investigaciones para determinar la presencia de sustancias tóxicas y su impacto en el ecosistema acuático y cómo afecta a la salud humana el consumo de plantas regadas con agua del río Muyurina.

La Autoridad Local del Agua (ALA), en cumplimiento de su responsabilidad de monitorear la calidad del agua según lo establecido por la ley, debe supervisar y evaluar la calidad del agua del río Muyurina para recopilar información que permita una toma de decisiones adecuada.

Es esencial fomentar el turismo responsable en las áreas del valle Muyurina para evitar un deterioro de la calidad de los recursos hídricos.

Referencias Bibliográficas

- Alcarraz, T. (2011). *Análisis Químico Instrumental*. Ayacucho: Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga.
- Alcarraz, T., Barboza, G., & Córdova, A. (2013). Características físico-químicas y determinación de la calidad del agua del río Yucaes, Ayacucho - 2013. *Revista Institucional*, 101-111. Obtenido de <https://1library.co/document/y6j1wo4q-caracteristicas-fisico-quimicas-determinacion-calidad-agua-yucaes-ayacucho.html>
- Alvarez, A., Rubiños, E., Gavi, F., Alarcón, J., Hernández, E., Ramírez, C., . . . Salazar, E. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción. *Revista Internacional de Botánica Experimental*(75), 71-83.
- Amado, J., Rubiños, E., Gavi, F., Alarcon, J., Hernández, E., Ramirez, C., . . . Salazar, E. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del rio Amajac, Hidalgo, México: diagnóstico y predicción. *International Journal of Experimental Botany*, 71-83.
- Apella, M., & Araujo, P. (2016). *Microbiología de agua*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Tucumán. Obtenido de https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf
- AQUAE Fundación. (2014). *Fundacionaquae.org*. Obtenido de Datos interesantes de la distribución del agua en la Tierra: <https://www.fundacionaquae.org/principales-datos-del-agua-en-el-mundo/>
- AQUAE Fundación. (s.f.). *Fundacionaquae.org*. Obtenido de ¿Qué es la contaminación ambiental?: https://www.fundacionaquae.org/causas-contaminacion-ambiental/#Tipos_de_contaminacion_ambiental
- Arellano, J., & Guzman, J. (2011). *Ingeniería Ambiental* (Primera ed.). México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.

- Aretxabala, A. (18 de Setiembre de 2015). *Iagua*. Obtenido de Ciclo del agua planetario, la dimensión vital que apenas comenzamos a comprender: <https://www.iagua.es/blogs/antonio-aretxabala/ciclo-agua-planetario-dimension-vital-que- apenas-comenzamos-comprender>
- Arones, E. G., Veliz, R. R., & Palomino, Y. G. (2018). Evaluación de la calidad del agua del río Huatatas, aplicando el ICA, Región Ayacucho. *Investigación*, 26(1), 117-125. Obtenido de <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.2018.1.67>
- Barranquero, R. S. (15 de Octubre de 2010). *UNICEN*. Obtenido de La disponibilidad y calidad de agua como problemática ambiental que nos involucra a todos : <https://www.unicen.edu.ar/content/la-disponibilidad-y-calidad-de-agua-como-problem%C3%A1tica-ambiental-que-nos-involucra-todos>
- Bonilla, B., Carranza, F., Flores, J., Gonzáles, C., Arias, A., & Chávez, J. (2010). *Metodología analítica para la determinación del índice de calidad del agua (ICA)* (Primera ed.). (M. Springer, Ed.) El Salvador: Universitaria (UES). Obtenido de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9095/1/GUIA%20MUESTREO%20FISICOQUIMICO%20Y%20MICROBIOLOGICO%20%28378KB%29.pdf>
- Carrasco, C. (2005). *Manual de técnicas para análisis de agua* (Primera ed.). Ayacucho.
- Chávez, L. N. (2015). *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazonas en Coatzintla [Tesis de grado, Universidad Veracruzana]*. Repositorio Institucional, Tuxpan. Obtenido de <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/41932>
- Concha, L. (2014). *La Química del Agua*. Venezuela: UCV.
- Condezo-Hoyos, L., Abderrahim, M., & Arribas, S. M. (2015). *Análisis colorimétrico de alta eficiencia y de bajo coste mediante visión por computador*. Bilbao: Comité Español de Automática de la IFAC. Obtenido de <https://www.ehu.eus/documents/3444171/4484752/125.pdf>

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2004). *Estudio de la calidad del agua del río Cauca y sus principales tributarios mediante la aplicación de índices de calidad y contaminación*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.

Departamento de Asuntos Sociales y Económicos de la Naciones Unidas [ONU-DAES]. (22 de Octubre de 2014). *UN WATER*. Obtenido de Decenio Internacional para la Acción "El agua fuente de Vida":
<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

Departamento General de Irrigación [DGI]. (2016). *AQUABOOK*. Obtenido de El agua: Una mirada global: http://aquabook.agua.gob.ar/1014_0

Díaz, L. A. (2010). *Estudio comparativo de índices de calidad de agua mediante la aplicación y evaluación de un modelo armonizado en Latinoamérica, caso de estudio río Loa [tesis de maestría, Universidad Católica del Norte]*. Repositorio Institucional, Chile.

Enciclopedia Medioambiental. (06 de Marzo de 2017). *Ambientum.com*. Recuperado el 06 de Marzo de 2017, de *Ambientum.com*:
http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/Rios.asp

Encinas, M. D. (2011). *Medio ambiente y contaminación. Principios básicos* (Primera ed.). Obtenido de <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Ambiente%20y%20Contaminaci%C3%B3n.%20Principios%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=6>

Escalante-Pozos, V., & Bandala, E. R. (2014). Calidad del agua y su relación con alimentos : aplicación de procesos Fenton y tipo Fenton en la eliminación de contaminantes en agua. *TSIA*, 8(1), 34-47.

Espinoza, M. A. (2015). *Caracterización del agua del río Alameda y tipificación según Índice de Calidad del Agua, Ayacucho 2014 [Tesis de grado, Universidad Nacional*

- de San Cristóbal de Huamanga*]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1693>
- Figueruelo, J., & Marino, M. (2004). *Química física del ambiente y de los procesos medioambientales*. España: REVERTE.
- Flores, A. T. (2016). *Química Ambiental*. Managua-Nicaragua: Vargas.
- Gil, M. (2006). *Depuración de aguas residuales: modelización de procesos de lodos activos* (Primera ed.). España: Grafica/85 S.A.
- Gómez, N., & Cochero, J. (Abril de 2013). Un índice para evaluar la calidad del hábitat en la franja costera sur del río de la plata y su vinculación con otros indicadores ambientales. *Ecología Austral*, 23, 18-27. Obtenido de <http://ref.scielo.org/p8f44q>
- Gómez, S., & Velosa, A. (9 de Noviembre de 2009). Cálculo de cargas e índices de contaminación en la cuenca principal del río Pamplonita. *Informe*. Bucaramanga, Colombia.
- Gómez-Gómez, M., Danglot-Banck, C., & Vega-Franco, L. (2011). Disponibilidad de agua para la salud y la vida. Lo que todos debemos saber. (Medigraphic, Ed.) *Revista Mexicana de Pediatría*, 77(6), 260-270. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/pediat/sp-2010/sp106f.pdf>
- Goyenola, G. (2007). *Oxígeno Disuelto*. Uruguay: Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos (RED MAPSA). Obtenido de <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/>
- Harris, D. (2007). *Análisis Químico Cuantitativo* (Tercera ed.). México: Reverte.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). México: McGraw-Hill / Interamericana editores, S.A. de C.V.
- INEN. (2013). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*. Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR). (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros físicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos)*. Ed. Precolombi. Obtenido de <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2003). *Mapa de peligros de la ciudad de Ayacucho*. Ayacucho.
- Internacional Organization for Standardization [ISO]. (2012). *Water Quality Sampling. Part 3: Preservation and handling of water samples*. Ginebra, Suiza: International Standard ISO 5667-3 .
- Javier, A. (2003). *Calidad y riesgo de contaminación de las aguas superficiales en la microcuenca del río La Soledad, Valle de Ángeles [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]*. Repositorio Institucional, Costa Rica.
- Jenkins, D. (2004). *Química del agua*. México: Limusa, S.A. de C.V.
- Jimenez, J. A., & Llico, M. E. (2020). *Evaluación de la calidad del agua en el río Muyoc, aplicando el índice de calidad ambiental para agua, Cajamarca 2019 [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]*. Repositorio Institucional, Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23984/Jimenez%20Cotrina%2c%20Jhon%20Abner%20-%20Llico%20Portal%2c%20Merly%20Evellin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Khan Academy. (2015). *Khanacademy.org*. Obtenido de Introducción al análisis gravimétrico: <https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/stoichiometry-and-molecular-composition-ap/limiting-reagent-stoichiometry-ap/a/gravimetric-analysis>

- López, C. S. (2012). *Protocolos de prácticas de Microbiología Ambiental*. Tingo María. Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Mackenzie, D., & Cornwell, D. (2012). *Introduction to Environmental Engineering* (Fifth ed.). McGraw-Hill Education.
- Malagón, M. D. (2011). *Medio Ambiente y Contaminación. Principios Básicos*.
- Mamani, E. (2012). Propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. *Ministerio del Ambiente*, 45-48.
- Manacorda, A. M., Álvarez, A. S., Pezzullo, S. P., & Cuadros, D. P. (2014). *Manual práctico de microbiología - Tomo II: Microbiología Ambiental II* (Tercera ed.). Buenos Aires: Universidad Nacional del Comahue. Obtenido de <https://dokumen.tips/documents/manual-de-microbiologia-ambiental-ii-tomo-ii.html>
- Marín, R. (2008). *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas*. Cordova: Empresa Municipal de Aguas de Córdoba S.A. (EMACSA).
- Marin, R. (2015). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas* (Primera ed.). España: Diaz de Santos S.A.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI]. (2015). *MIDAGRI*. Obtenido de Contaminación del agua: <https://www.midagri.gob.pe/portal/54-sector-agrario/cuencas-e-hidrografia/374-problematica>
- Ministerio del Ambiente. (2011). *Compendio de la Legislación Ambiental Peruana, Marco Normativo General* (Primera ed., Vol. I). Lima, Perú: Ministerio del Ambiente - MINAM. Obtenido de <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/compendio-legislacion-ambiental-peruana-vol-i-marco-normativo-general>
- Ministero de Medio Ambiente. (2000). *La Situación Actual y los Problemas Existentes y Previsibles*. España: Centro de Publicaciones Secretaría general Técnica. Obtenido

- de https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperaci%C3%B3n%20del%20J%C3%BAcar/Cap.3_part2._Libro_blanco_del_agua.pdf
- Monografias. (22 de Julio de 2014). *Monografias.com*. Obtenido de Aguas: <https://www.monografias.com/trabajos101/agua-todo/agua-todo.shtml>
- Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2006). *Fundamentos de Ecología* (Quinta ed.). Cengage learning.
- OMS. (2003). *Total dissolved solids in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable*. Ginebra-Suiza: Organización Mundial de la Salud.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2013). *Informe sobre temas hídricos: Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. Roma: FAO. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i3015s/i3015s.pdf>
- Pérez, J. K. (2017). *Determinación del índice de calidad del agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales omo, durante el periodo 2014-2015 [Tesis de grado, Universidad José Carlos Mariátegui]*. Repositorio Institucional, Moquegua. Obtenido de http://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12819/299/Julisa_Tesis_titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Programa de las Naciones Unidas [PNUMA]. (2015). *Agua dulce*. PNUMA. Obtenido de <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu//newsletter15/974-spa.pdf>
- Pütz, P. (2008). *Fosfato*. Berlin: HACH LANGE. Obtenido de www.hach-lange.es

- Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. (2016). *Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua*. Lima: ANA.
- Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D., & Clesceri, L. S. (2012). *Standard Methods for the examination of Water and Wastewater* (22ND edition ed.). Washington DC.: American Water Works Association.
- Roldán, G., & Ramirez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología neotropical* (Segunda ed.). Colombia: Universidad de Antioquia.
- Roldán, G., & Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de Limnología neotropical*. (Segunda ed.). Colombia: Universidad de Antioquia. Obtenido de <http://www.untumbes.edu.pe/vcs/biblioteca/document/varioslibros/0742.%20Fundamentos%20de%20limnolog%C3%ADa%20neotropical.pdf>
- Salgado-Bernal, I., Durán-Domínguez, C., Cruz-Arias, M., Carballo-Valdés, M., & Martínez-Sardiñas, A. (2012). Bacterias rizosféricas con potencialidades fisiológicas para eliminar materia orgánica de aguas residuales. *Rev. Int. Contam. Ambiental*, 28(1), 17–26.
- Severiche, C. A., Castillo, M. E., & Acevedo, R. L. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros*. Colombia: Eumed.NET. Obtenido de <https://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>
- Sierra, C. A. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico* (Primera ed.). (L. D. López Escobar, Ed.) Bogotá: Digiprint Editores E.U. Obtenido de https://www.academia.edu/9511155/Calidad_del_agua_evaluaci%C3%B3n_y_diagn%C3%B3stico
- Sigler, A., & Bauder, J. (18 de Agosto de 2018). *Universidad Estatal de Montana*. Obtenido de www.region8water.org

- SPDA. (2017). *Sociedad Peruana de Derecho Ambiental*. Recuperado el 22 de Marzo de 2017, de Aprobación e implementación de estándares de calidad ambiental del agua: http://legislacionambientalspda.org.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=246&Itemid=3369
- Stainer, R., Ingraham, J., Wheelis, M., & Painter, P. (2007). *Microbiología* (Segunda ed.). España: Reverte S.A.
- Téllez, A. T. (2016). *Química Ambiental*. Managua: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Obtenido de <http://pridca.csuca.org/images/Noticias/A3/Libro---Quimica-Ambiental.pdf>
- Teves, B. M. (2016). *Estudio fisicoquímico de la calidad del agua del río Cakra, Región Lima [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]*. Repositorio Institucional, Lima. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6797>
- Torres, F. J. (2009). *Desarrollo y aplicacion de un indice de calidad de agua para rios en Puerto Rico [Tesis de maestria, Universidad de Puerto Rico]*. Repositorio Institucional.
- UNESCO. (2016). *Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos de las naciones unidas “el agua y el empleo”*. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). Obtenido de Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos de las naciones unidas “el agua y el empleo”: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244103_spa
- Yungán, J. L. (2010). *Estudio de la calidad de agua en los afluentes de la microcuenca del río Blanco para determinar las causas de la degradación y alternativas de manejo [Tesis de grado, Escuela Superior Politecnica de Chimborazo]*. Repositorio Institucional, Ecuador.

Anexos

Anexo 1

Panel fotográfico

Determinación de la ubicación de las 4 estaciones de muestreo de aguas del río Muyurina



Ubicación de las 4 estaciones de muestreo de aguas del río Muyurina



Determinación y fijación de las 4 estaciones de muestreo



Determinación del caudal del río Muyurina



Determinación in situ de las coordenadas



Toma de datos in situ utilizando el equipo multiparámetro, en la estación de muestreo Rmuyu-01



Toma de muestras en la estación de muestreo 1 (Rmuyu-01)



Toma de muestras en la estación de muestreo 2 (Rmuyu-02)



Toma de datos in situ utilizando el equipo multiparámetro en la estación de muestreo 3 (Rmuyu-03)



Toma de muestra de agua en la estación de muestreo 3 (Rmuyu-03)



Toma de datos in situ utilizando el equipo multiparámetro en la estación de muestreo (Rmuyu-04)



Toma de muestra de agua en la estación de muestreo 1 (Rmuyu-01), en época de lluvia



Toma de muestra de agua en la estación de muestreo 2 (Rmuyu-02), en época de lluvia



Residuos que trajo la corriente del río en la estación de muestreo 2 (Rmuyu-02), en época de lluvia



Toma de muestra de agua en la estación de muestreo 3 (Rmuyu-03), en época de lluvia



Toma de datos en la estación de muestreo 4 (Rmuyu-04), en época de lluvia



Toma de muestras de agua en la estación de muestreo 4 (Rmuyu-04), en época de lluvia



Toma de datos para medición del caudal en la estación de muestreo 4 (Rmuyu-04), en la época de lluvia



Medición de la turbidez del agua de río Muyurina



Presencia de cultivos de alfalfa, maíz, frutales y hortalizas en la estación de muestreo (Rmuyu-02)



Presencia de cultivos de frutales y hortalizas en la estación de muestreo 3 (Rmuyu-03)



Presencia de cultivos de frutales y hortalizas en la estación de muestreo 4 (Rmuyu-04)



Secado de muestras en la estufa, para realizar los análisis de sólidos totales



Equipos empleados en la investigación



Determinación de fosfatos de las muestras de las aguas del río Muyurina



Figura 50

Determinación de nitratos de las muestras de las aguas del río Muyurina



Anexo 2

Procedimiento para la obtención de los parámetros fisicoquímicos de recursos hídricos

1. Sólidos disueltos totales

Determinar el contenido de sólidos suspendidos totales presentes en una muestra de agua.

1.1. Fundamento

Los sólidos disueltos totales, son las sustancias que permanecen después de filtrar y evaporar a sequedad una muestra bajo condiciones específicas. En los sólidos disueltos totales (SDT), se determina el incremento de peso que experimenta una cápsula tarada, tras la evaporación en ella de una alícuota de la muestra previamente filtrada y que posteriormente es secada a peso constante a 180 °C, temperatura a la cual el agua de cristalización está prácticamente ausente. El contenido de sólidos disueltos puede estimarse por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales.

1.2. Ámbito de aplicación

El método es aplicable a todo tipo de aguas.

1.3. Interferencias

- La temperatura a la cual el residuo se seca, tiene un efecto importante sobre los resultados, ya que pueden ocurrir pérdidas en el peso de la materia orgánica presente durante la etapa de secado y/o desprendimiento de gases por descomposición química y/o por la oxidación del residuo, así como por la oclusión del agua.
- El tipo de filtro, el tamaño del poro, el grosor del filtro, el tamaño de la partícula y la cantidad de material depositado en el filtro, son los principales factores que afectan la separación de los sólidos suspendidos y los disueltos.
- Las aguas excesivamente mineralizadas con un contenido considerable de calcio, magnesio, cloruros y/o sulfatos, pueden ser higroscópicas y exigir un secado prolongado, un grado de desecación adecuado y un pesado rápido. Puesto que un residuo excesivo en la cápsula puede formar una costra hidrófila, debe limitarse el tamaño de la muestra para tratar de

obtener un residuo no mayor de 200 mg.

1.4. Descripción de la metodología analítica

1.4.1.Recolección, preservación y almacenaje de muestras

Las muestras deben recolectarse en frascos plásticos o de vidrio y refrigerarse inmediatamente. Realizar el análisis lo antes posible, y en caso de requerirse almacenamiento, hacerlo a temperatura $\leq 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un tiempo máximo de 7 días.

1.4.2.Equipos y materiales

- Cápsulas de evaporación adecuadas al volumen de la muestra.
- Mufla.
- Equipo de filtración.
- Filtros para análisis gravimétrico: ap40 millipore o equivalente (como gf 1822047 ó 934ah whatman).
- Desecador con sílica azul como indicador colorimétrico de humedad.
- Balanza analítica.
- Agitador magnético.
- Placa calefactora.
- Probetas de diferentes volúmenes.

1.4.3.Procedimiento

Las condiciones ambientales no son críticas para la realización de este ensayo.

Preparación del filtro y la cápsula de porcelana:

- Encender la mufla a $180 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Colocar el filtro (con la cara rugosa hacia arriba), en el equipo de filtración.
- Aplicar vacío y lavar con 3 porciones sucesivas de 20 mL de agua destilada.
- Continuar la succión hasta remoción total de las trazas de agua. Desechar el filtrado.
- Retirar el filtro, depositarlo en la cápsula de evaporación que se va a tarar y llevarlos a la mufla por 1 hora a $180 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Después de la hora, sacar la cápsula con el filtro y colocarla en el desecador.
- Con las pinzas, retirar el filtro y colocarlo sobre papel aluminio en el mismo desecador donde se dejará en reposo junto con la cápsula hasta el momento de usarlos.

- Pesar la cápsula inmediatamente antes de usar y registrar el dato (Peso A).

1.4.4. Análisis de la muestra

- Esperar a que la muestra se encuentre a temperatura ambiente.
- Ensamblar el equipo de filtración utilizando un filtro previamente acondicionado.
- En función del aspecto de la muestra, seleccionar el volumen a filtrar.
- Mezclar bien la muestra y filtrarla.
- Lavar con tres alícuotas de 10 mL de agua destilada.
- Continuar la succión durante 3 minutos adicionales.
- Transferir el filtrado, con los lavados incluidos, a la cápsula de evaporación previamente tarada.
- Llevar casi hasta sequedad en placa calefactora evitando la ebullición.
- Introducir la cápsula en la mufla previamente acondicionada a 180 ± 2 °C y dejarla durante una hora.
- Enfriar en desecador; pesar sin dilación la cápsula y registrar el dato (Peso B).
- Repetir hasta que la variación del peso sea < 4 % ó de 0,5 mg (lo que resulte menor).

1.5. Cálculos y presentación de resultados

$$\text{mg sólidos disueltos totales/L} = [(B - A) \times 1000] / \text{volumen muestra (mL)}$$

Donde:

A: peso de la cápsula de evaporación vacía (en mg).

B: peso de la cápsula de evaporación + residuo seco (en mg); se empleará el promedio de los dos valores que cumplan el requisito de peso constante antes enunciado. Resultados inferiores a 10 mg/L se reportarán con una cifra decimal, los restantes se redondearán a la unidad. Para aquellas muestras que excepcionalmente presenten resultados inferiores a 5 mg/L, informe " < 5 mg/L".

1.6. Control de calidad del método

Se realizará con base a los criterios de precisión y exactitud.

Precisión: realizar una muestra por duplicado por cada lote de diez o menos muestras. Se considerará satisfactoria siempre que no exceda 10 % expresada como coeficiente de variación.

Exactitud: analizar una muestra de control sintética. Se considerará satisfactoria siempre que el error no exceda 10 %.

2. Nitrato

Determinar el contenido de nitrato en muestras de agua.

2.1. Fundamento

Los nitratos son medidos por ultravioleta a una longitud de onda de 220 nm, pero a esta misma longitud de onda, la materia orgánica presente en las muestras, también puede absorber, por lo que se mide a una longitud de onda de 275 nm para corregir el valor de nitrato. Sin embargo, esta corrección es empírica, dado que las concentraciones de materia orgánica pueden variar de un agua a otra.

2.2. Ámbito de aplicación

El método es aplicable a aguas de bajo contenido de materia orgánica, especialmente agua potable y naturales no contaminadas. Está mayormente dirigido a verificar el cumplimiento de la legislación vigente para agua para consumo humano o para las aguas destinadas a consumo humano y doméstico previo tratamiento.

2.3. Interferencias

Materia orgánica disuelta, surfactantes, nitrito y cromo hexavalente, pueden interferir al igual que hidróxidos y carbonatos en contenidos superiores a 1000 mg CaCO₃/L. No obstante, las interferencias más comunes se deben a la turbiedad y a la materia orgánica y pueden atenuarse mediante filtración o adición de HCl 1N, respectivamente. Este último, también previene las interferencias de hidróxidos y carbonatos.

2.4. Descripción de la metodología analítica

2.4.1. Colección, preservación y almacenaje de muestras

Las muestras pueden colectarse en frascos plásticos o de vidrio. No existe método de preservación por lo que deben analizarse sin dilación. En caso de requerirse almacenamiento, éste debe realizarse por refrigeración a aproximadamente 4 °C por no más de 48 horas, excepto las muestras cloradas que pueden conservarse por 14 días.

2.4.2. Equipos y materiales

- Espectrofotómetro para trabajar en intervalo ultravioleta (220 y 275 nm), con cubetas de cuarzo de 1 cm de paso óptico para trabajar en intervalo ultravioleta.
- Vidriería: frascos volumétricos, vasos de precipitado y pipetas.
- Papel filtro N° 50 o membrana de filtro de 0,45 µm.

2.4.3. Reactivos

Todos los reactivos son de grado analítico, excepto se indique alguna especificación.

- Ácido clorhídrico 1 N.
- Solución Madre de Nitrato: pesar 0,7218 g de KNO_3 previamente secado en estufa a 105 °C durante 24 h, disolverlos y enrasar con agua en un matraz aforado de 1000 mL, preservar con adición de 2 mL de cloroformo. 1,00 mL = 100 µg N- NO_3 ó 443 µg NO_3 . Almacenar en refrigeración hasta seis meses en frasco ámbar.
- Solución Intermedia de Nitrato: diluir 100 mL de la Solución Madre de Nitrato y llevarla a 1000 mL con agua, preservar con adición de 2 mL de cloroformo. 1,00 mL = 10,0 µg N- NO_3 ó 44,3 µg NO_3 . Almacenar en refrigeración hasta seis meses en frasco ámbar.
- Agua desionizada o bidestilada.

2.4.4. Procedimiento

Las condiciones ambientales no son críticas para la realización de este ensayo.

Preparación de la curva de calibración

- En frascos volumétricos de 50 mL, pipetear volúmenes crecientes de la

solución intermedia de nitrato y enrasar con agua para obtener al menos seis concentraciones comprendidas en el intervalo 0 - 7 mg/L N-NO₃, el cual equivale a 0 a 31 mg NO₃/L.

- Trasvasar a vasos de precipitados de 100 mL, añadir 1 mL de HCl 1 N y agitar.
- Transferir a cubetas de paso óptico de 1 cm y leer en el espectrofotómetro las absorbancias a 220 y 275 nm.

Verificación de la curva de calibración

Cada vez que se analicen muestras no es necesario construir una nueva curva de calibración, sino verificar la validez de la existente.

- Preparar y analizar un blanco de reactivos con agua para ajustar el cero del equipo.
- Analizar como si fuera muestra, un patrón de 1 mg/L N-NO₃ equivalente a 4,43 mg/L NO₃. Si el resultado es coincidente $\pm 10 \%$, se considera que la curva es válida y se procede a preparar y leer las muestras. En caso negativo, verificar los reactivos, y si es necesario, prepararlos nuevamente y construir una nueva curva de calibración.

Determinación de nitratos en muestras

Si las muestras han sido refrigeradas, dejarlas estabilizar a temperatura ambiente.

- Transferir 50 mL de muestra (previamente filtrada por membrana de 0,45 μm o sometida a centrifugación, en caso de ser necesario por presentar alta turbiedad), a un vaso de precipitados de 100 mL, adicionarle 1 mL de HCl 1N y agitar para mezclar bien.
- Transferir a cubetas de paso óptico de 1 cm y leer en el espectrofotómetro las absorbancias a 220 y 275 nm.

3. Fosfatos

Determinar la concentración de fosfatos de una muestra de agua.

3.1. Fundamento

En las aguas naturales y residuales, el fósforo se presenta mayoritariamente en forma de fosfatos. Estos son clasificados en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro,

meta y otras polifosfatos) y fosfatos enlazados orgánicamente. Se encuentran en solución, en partículas o detritus o en cuerpos de organismos acuáticos y pueden provenir de diversas fuentes.

El análisis de fósforo implica dos etapas básicas:

- La conversión de la forma de fósforo que interesa determinar, a ortofosfato disuelto. Esto se logra mediante una hidrólisis o digestión oxidante (IE 24). Cuando se quiere distinguir entre la forma disuelta y la suspendida, se realiza una filtración por membrana.
- La determinación colorimétrica de ortofosfatos. De los tres métodos existentes: ácido vanadomolibdofosfórico, cloruro de estaño II y ácido ascórbico, se ha seleccionado este último por su sensibilidad y simplicidad.

En este método, en medio ácido el molibdato de amonio y el tartrato doble de antimonio y potasio reaccionan con ortofosfato con formación de un heteropoliácido fosfomolibdico, el cual es reducido por el ácido ascórbico a azul de molibdeno, complejo azul intensamente coloreado. La absorbancia del complejo medida a una longitud de onda de 880 nm, resulta proporcional a la concentración de ortofosfatos en la muestra.

Los fosfatos que responden a la determinación colorimétrica sin recurrir a la etapa 1, se consideran "fósforo reactivo", el cual da una medida fundamentalmente del ortofosfato, sin excluir una pequeña fracción de fosfato condensado que puede hidrolizarse durante el análisis.

3.2. Ámbito de aplicación

El método es aplicable a todo tipo de aguas, incluyendo las marinas, ya que la influencia de la salinidad es despreciable en la intensidad del color. Está dirigido fundamentalmente a verificar el cumplimiento de la legislación para aguas potables ($\leq 0,5$ mg/L).

3.3. Interferencias

El color natural del agua no suele interferir a la elevada longitud de onda empleada. Con aguas turbias o muy coloreadas, preparar un blanco sin adición de reactivo combinado y restar su absorbancia a la de la muestra. Diversas sustancias como arsenatos, cromo VI y nitritos, pueden causar interferencias, aunque las

concentraciones necesarias para que esto ocurra, habitualmente no son encontradas.

3.4. Descripción de la metodología analítica

3.4.1. Colección, preservación y almacenaje de muestras

Colectar sólo muestras puntuales y en frascos de vidrio previamente lavados. Deben analizarse sin dilación y en caso de requerirse almacenamiento por corto plazo, realizarlo por refrigeración a 4 °C o congelación a -20 °C por un tiempo no mayor de 24-48 horas.

Si la solución no se va a analizar dentro de los dos días siguientes a la preparación, se puede preservar una alícuota con 0,2 mL de ácido sulfúrico concentrado por cada 100 mL de muestra para llevar a pH<2 y se debe almacenar a 4 °C. La muestra preservada se puede analizar tan pronto como sea posible pero dentro de un periodo máximo de 28 días.

Para determinar fosfato disuelto (fósforo reactivo disuelto), filtrar inmediatamente a través de membrana de 0,45 µm o papel filtro N° 50.

3.4.2. Equipos y materiales

- Espectrofotómetro para trabajar a 880 nm con celdas de 1 y 5 cm de paso óptico.
- Vidriería de borosilicato lavada con HCl diluido caliente (40-50 °C) y enjuagada con abundante agua destilada. De emplear detergentes, estos no pueden contener fosfatos. Esta cristalería debe destinarse solamente para la determinación de fosfatos y guardarse tapada hasta su posterior uso. La cristalería donde se desarrolla el color debe lavarse periódicamente con NaOH 2M para eliminar la película del complejo coloreado que se adhiere a las paredes el vidrio.

3.4.3. Reactivos

Para la preparación de reactivos, patrones y muestras, se empleará agua desionizada. Todos los reactivos son de grado analítico, excepto se indique alguna especificación. En función del consumo previsto y la caducidad de los reactivos, pueden prepararse volúmenes menores reduciendo proporcionalmente las cantidades empleadas.

- Solución Madre de Fosfatos (100 mg PO_4^{-3}/L): utilizar solución trazable. De forma alternativa, pesar (después de secado a 105 °C por 24 horas), 143,2910 mg de

KH_2PO_4 , disolverlos y enrasar con agua en un matraz aforado de 1000 mL. Almacenar a ≤ 6 °C en frasco de vidrio ámbar hasta por tres meses.

- Solución Patrón de Fosfatos (1 mg PO_4^{3-} /L): pipetear 1 mL de la Solución Madre de Fosfatos a un matraz aforado de 100 mL y enrasar con agua. Un mL de esta solución contiene 1 μg de PO_4^{3-} . Se debe preparar al momento de usar.
- Solución de ácido sulfúrico 5 N: verter 7 mL de H_2SO_4 concentrado en un matraz aforado de 50 mL que contenga aproximadamente 40 mL de agua, agitar, enfriar y enrasar. Almacenar en frasco de vidrio ámbar hasta por 6 meses.
- Solución de ácido ascórbico 0,1 M: pesar 0,88 g de ácido ascórbico, disolverlo y enrasar con agua en un matraz aforado de 50 mL. Es recomendable prepararla al momento de su uso, aunque puede conservarse una semana en refrigeración, sacando de la nevera sólo la porción a utilizar.
- Solución de molibdato de amonio al 4 %: pesar 2 g de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, disolverlo y enrasar con agua en un matraz aforado de 50 mL. Almacenar en frasco ámbar durante 6 meses, pero desechar antes si ocurre precipitación.
- Solución de tartrato doble de antimonio y potasio: pesar 0,1372 g de $(\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O})$, disolverlo con 40 mL de agua en balón volumétrico de 50 mL y finalmente enrasar. Almacenar en frasco ámbar durante 6 meses, pero desechar antes si ocurre precipitación.
- Reactivo Combinado para Fosfato: se debe preparar al momento de su uso y usarse en las 4 horas subsiguientes. Por cada 100 mL, mezclar en el siguiente orden y agitando después de cada adición:
 1. 50 mL de ácido sulfúrico 5 N.
 2. 5 mL de solución de tartrato de antimonio y potasio.
 3. 15 mL de solución de molibdato de amonio.
 4. 30 mL de solución de ácido ascórbico.

Si aparece turbiedad, agitar y dejar reposar unos minutos hasta que ésta desaparezca.

3.4.4. Procedimiento

Las condiciones ambientales no son críticas para la realización de este ensayo.

Preparación de las curvas de calibración

Se emplean 2 curvas, una en intervalo bajo (0-0,40 mg/L) y otra en intervalo alto (0,1-3,0 mg/L).

- Pipetear volúmenes crecientes de la solución patrón de fosfatos y completar a volumen con agua para obtener al menos seis concentraciones comprendidas en el intervalo deseado.
- Transferir los estándares a vasos de precipitado de 100 mL.
- Añadir 1 gota de indicador de fenolftaleína; si desarrolla color rosado-rojo, añadir gotas de H_2SO_4 5N hasta desaparición del color.
- Adicionar 8,0 mL de reactivo combinado y agitar.
- Dejar en reposo por al menos 10 minutos para completar el desarrollo de color.
- Antes de 30 minutos, leer en espectrofotómetro a 880 nm con cubetas de paso óptico de 5 cm ó 1 cm.
- En función del espectrofotómetro utilizado, crear la curva de calibración.

Verificación de las curvas de calibración

- Cada vez que se analicen muestras, no es necesario construir una nueva curva de calibración, sino verificar la validez de la existente. En este caso, se prepara un estándar de 0,20 ó 1,0 mg/L para el intervalo bajo o alto, respectivamente, y se lee como si fuera una muestra. Si el resultado es coincidente $\pm 10\%$, se considera que la curva es válida y se procede a preparar y leer las muestras. En caso negativo, repetir el estándar. Si el problema persiste, verificar los reactivos, en particular, la solución madre de fosfatos y si es necesario, prepararlos y construir una nueva curva de calibración.

Determinación de fosfatos en muestras

- Transferir 50 mL de muestra (previamente filtrada con papel filtro N° 50, en caso de ser necesario por presentar alta turbiedad), a un vaso de precipitados de 100 mL. Adicionar 8,0 mL del reactivo combinado. Agitar para mezclar bien.
- Esperar 10 minutos para el desarrollo del color.
- Leer en espectrofotómetro a 880 nm con cubetas de paso óptico de 1 ó 5 cm respecto a la curva de calibración correspondiente.
- Si la muestra se analiza inicialmente con la curva baja y resulta mayor al patrón superior, debe releerse con la curva alta. Si también resulta superior al mayor patrón de ésta, es necesario repetir el proceso mediante la lectura de diluciones de la muestra. Para esto, debe realizarse como mínimo dos diluciones, se calculará el coeficiente de variación y si éste no supera 10 %, se informará el valor promedio; en estos casos, es necesario multiplicar previamente por el factor de

dilución.

3.5. Presentación de resultados

En función del espectrofotómetro utilizado, el resultado se obtendrá directamente en la curva de calibración del equipo. Se expresará con tres cifras decimales. Se debe consultar los datos de la curva vigente para informar aquellos resultados que resulten menores al límite de detección.

Anexo 3

Índices de NMP para distintas combinaciones de resultados positivos, cuando se utilizan 5 y 3 tubos por dilución, respectivamente.

Tabla 1

Índice de NMP y límites de confianza del 95% para varias combinaciones de resultados positivos, cuando se utilizan 5 tubos por dilución (10 ml, 1 ml y 0,1 ml)

| Combinación de tubos positivos | NMP/ 100 ml | Límites de Confianza 95% | | Combinación de tubos positivos | NMP/ 100 ml | Límites de Confianza 95% | |
|--------------------------------|-------------|--------------------------|----------|--------------------------------|-------------|--------------------------|----------|
| | | Superior | Inferior | | | Superior | Inferior |
| 0-0-0 | < 2 | --- | --- | 4-3-0 | 27 | 12 | 67 |
| 0-0-1 | 2 | 1.0 | 10 | 4-3-1 | 33 | 15 | 77 |
| 0-1-0 | 2 | 1.0 | 10 | 4-4-0 | 34 | 16 | 80 |
| 0-2-0 | 4 | 1.0 | 13 | 5-0-0 | 23 | 9.0 | 86 |
| 1-0-0 | 2 | 1.0 | 11 | 5-0-1 | 30 | 10 | 110 |
| 1-0-1 | 4 | 1.0 | 15 | 5-0-2 | 40 | 20 | 140 |
| 1-1-0 | 4 | 1.0 | 15 | 5-1-0 | 30 | 10 | 120 |
| 1-1-1 | 6 | 2.0 | 18 | 5-1-1 | 50 | 20 | 150 |
| 1-2-0 | 6 | 2.0 | 18 | 5-1-2 | 60 | 30 | 180 |
| 2-0-0 | 4 | 1.0 | 17 | 5-2-0 | 50 | 20 | 170 |
| 2-0-1 | 7 | 2.0 | 20 | 5-2-1 | 70 | 30 | 210 |
| 2-1-0 | 7 | 2.0 | 21 | 5-2-2 | 90 | 40 | 250 |
| 2-1-1 | 9 | 3.0 | 24 | 5-3-0 | 80 | 30 | 250 |
| 2-2-0 | 9 | 3.0 | 25 | 5-3-1 | 110 | 40 | 300 |
| 2-3-0 | 12 | 5.0 | 29 | 5-3-2 | 140 | 60 | 360 |
| 3-0-0 | 8 | 3.0 | 24 | 5-3-3 | 170 | 80 | 410 |
| 3-0-1 | 11 | 4.0 | 29 | 5-4-0 | 130 | 50 | 390 |
| 3-1-0 | 11 | 4.0 | 29 | 5-4-1 | 170 | 70 | 480 |
| 3-1-1 | 14 | 6.0 | 35 | 5-4-2 | 220 | 100 | 580 |
| 3-2-0 | 14 | 6.0 | 35 | 5-4-3 | 280 | 120 | 690 |
| 3-2-1 | 17 | 7.0 | 40 | 5-4-4 | 350 | 160 | 820 |
| 4-0-0 | 13 | 5.0 | 38 | 5-5-0 | 240 | 100 | 940 |
| 4-0-1 | 17 | 7.0 | 45 | 5-5-1 | 300 | 100 | 1300 |
| 4-1-0 | 17 | 7.0 | 46 | 5-5-2 | 500 | 200 | 2000 |
| 4-1-1 | 21 | 9.0 | 55 | 5-5-3 | 900 | 300 | 2900 |
| 4-1-2 | 26 | 12 | 63 | 5-5-4 | 1600 | 600 | 5300 |
| 4-2-0 | 22 | 9.0 | 56 | 5-5-5 | > 1600 | --- | --- |
| 4-2-1 | 26 | 12 | 65 | | | | |

Fuente: APHA, 1991

Tabla 2

Ejemplos de utilización de tablas de NMP con tres réplicas por dilución

| Ej. | 10 | 1 | 0,1 | 0,01 | 0,001 | 0,0001 | Nº Carac. | Valor Tabla | Bact./ 100 ml |
|-----|-----|-----|-----|------|-------|--------|-----------|-------------|---------------|
| 1 | 3/3 | 2/3 | 0/3 | | | | 3-2-0 | 93 | 93 |
| 2 | 3/3 | 0/3 | 0/3 | | | | 3-0-0 | 23 | 23 |
| 3 | 3/3 | 2/3 | 1/3 | 0/3 | | | 3-2-1 | 150 | 150 |
| 4 | 0/3 | 1/3 | 0/3 | 0/3 | | | 0-1-0 | 3 | 3 |
| 5 | 3/3 | 3/3 | 2/3 | 0/3 | | | 3-2-0 | 93 | 93x10 |
| 6 | 0/3 | 3/3 | 3/3 | 2/3 | 1/3 | | 3-2-1 | 150 | 150x100 |
| 7 | -- | -- | 3/3 | 3/3 | 2/3 | 0/3 | 3-2-0 | 93 | 93x1000 |

Tabla 3

Índice de NMP, para distintas combinaciones de resultados positivos, cuando se utilizan 3 tubos por dilución (A: 10 ml, B: 1 ml y C: 0,1 ml)

| Combinación de tubos positivos A- B- C | NMP/ 100 ml | Combinación de tubos positivos A- B- C | NMP/ 100 ml | Combinación de tubos positivos A- B- C | NMP/ 100 ml |
|--|-------------|--|-------------|--|-------------|
| 0- 0- 1 | 3 | 1- 1- 2 | 15 | 2- 2- 3 | 42 |
| 0- 0- 2 | 6 | 1- 1- 3 | 19 | 2- 3- 0 | 29 |
| 0- 0- 3 | 9 | 1- 2- 0 | 11 | 2- 3- 1 | 36 |
| 0- 1- 0 | 3 | 1- 2- 1 | 15 | 2- 3- 2 | 44 |
| 0- 1- 1 | 6 | 1- 2- 2 | 20 | 2- 3- 3 | 53 |
| 0- 1- 2 | 9 | 1- 2- 3 | 24 | 3- 0- 0 | 23 |
| 0- 1- 3 | 12 | 1- 3- 0 | 16 | 3- 0- 1 | 39 |
| 0- 2- 0 | 6 | 1- 3- 1 | 20 | 3- 0- 2 | 64 |
| 0- 2- 1 | 9 | 1- 3- 2 | 24 | 3- 0- 3 | 95 |
| 0- 2- 2 | 12 | 1- 3- 3 | 29 | 3- 1- 0 | 43 |
| 0- 2- 3 | 16 | 2- 0- 0 | 9 | 3- 1- 1 | 75 |
| 0- 3- 0 | 9 | 2- 0- 1 | 14 | 3- 1- 2 | 120 |
| 0- 3- 1 | 13 | 2- 0- 2 | 20 | 3- 1- 3 | 160 |
| 0- 3- 2 | 16 | 2- 0- 3 | 28 | 3- 2- 0 | 93 |
| 0- 3- 3 | 19 | 2- 1- 0 | 15 | 3- 2- 1 | 150 |
| 1- 0- 0 | 4 | 2- 1- 1 | 20 | 3- 2- 2 | 210 |
| 1- 0- 1 | 7 | 2- 1- 2 | 27 | 3- 2- 3 | 290 |
| 1- 0- 2 | 11 | 2- 1- 3 | 34 | 3- 3- 0 | 240 |
| 1- 0- 3 | 15 | 2- 2- 0 | 21 | 3- 3- 1 | 460 |
| 1- 1- 0 | 7 | 2- 2- 1 | 28 | 3- 3- 2 | 1100 |
| 1- 1- 1 | 11 | 2- 2- 2 | 35 | 3- 3- 3 | >1100 |

Fuente: APHA, 1989

Anexo 4

Evaluación numérica del ICA

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$$

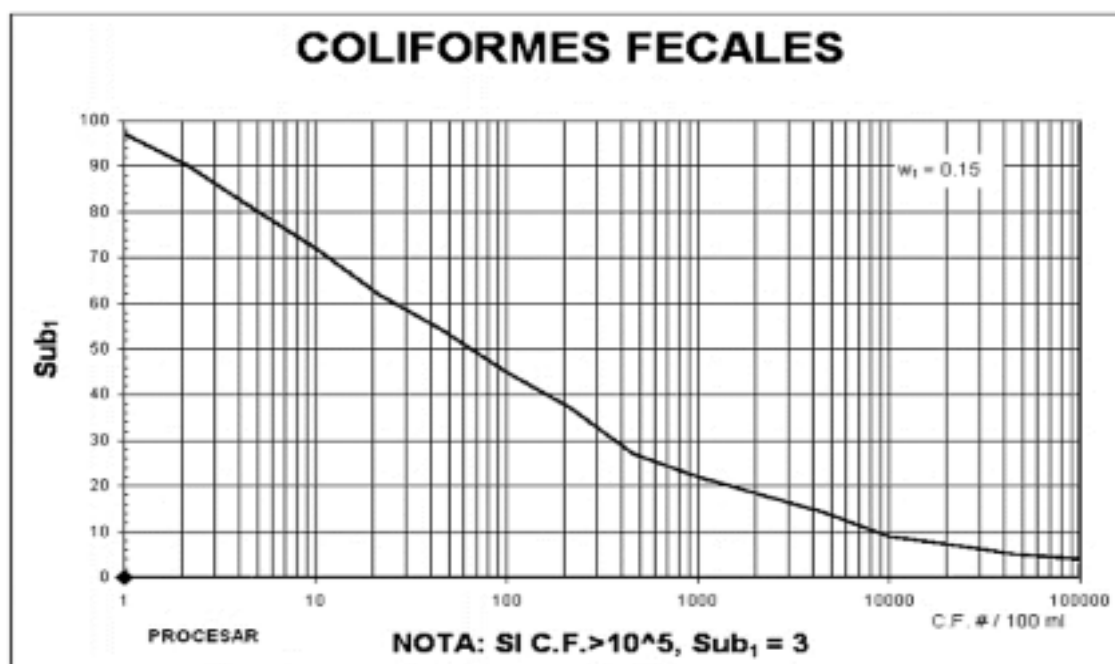
Donde:

ICA_a: Índice de Calidad de Agua.

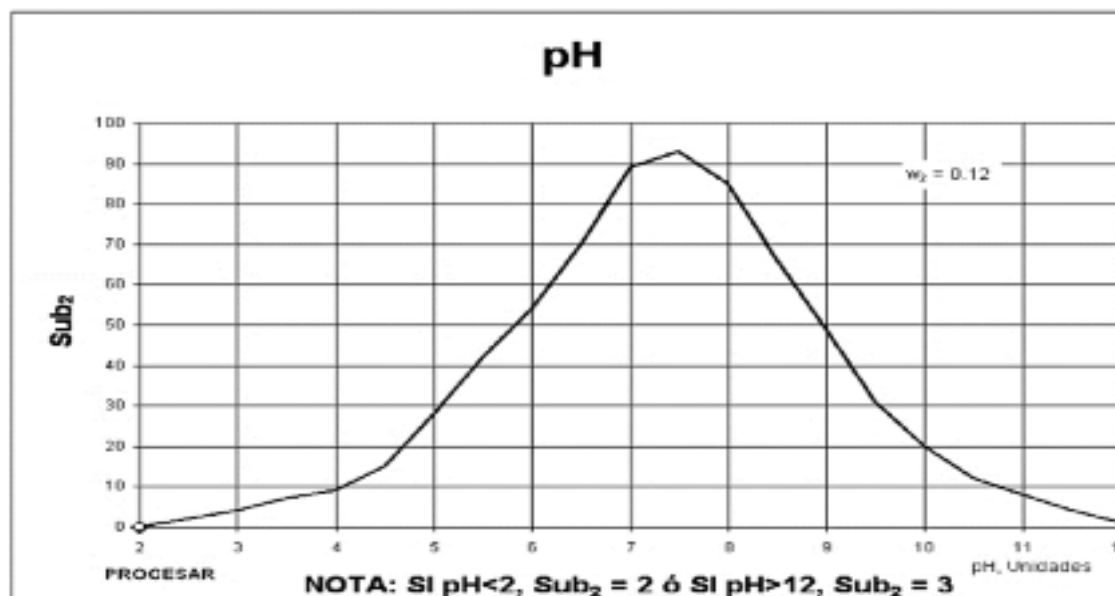
w_i: Pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub_i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Sub_i: Subíndice del parámetro i.

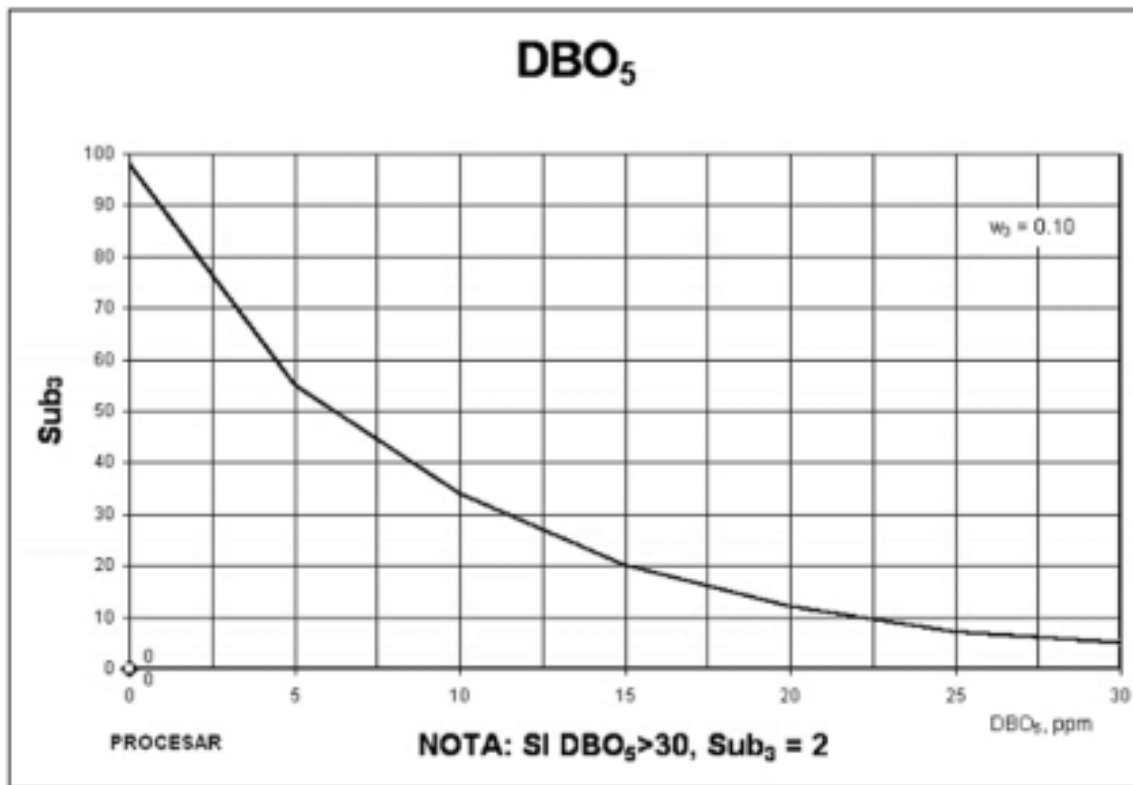
Coliformes Fecales.



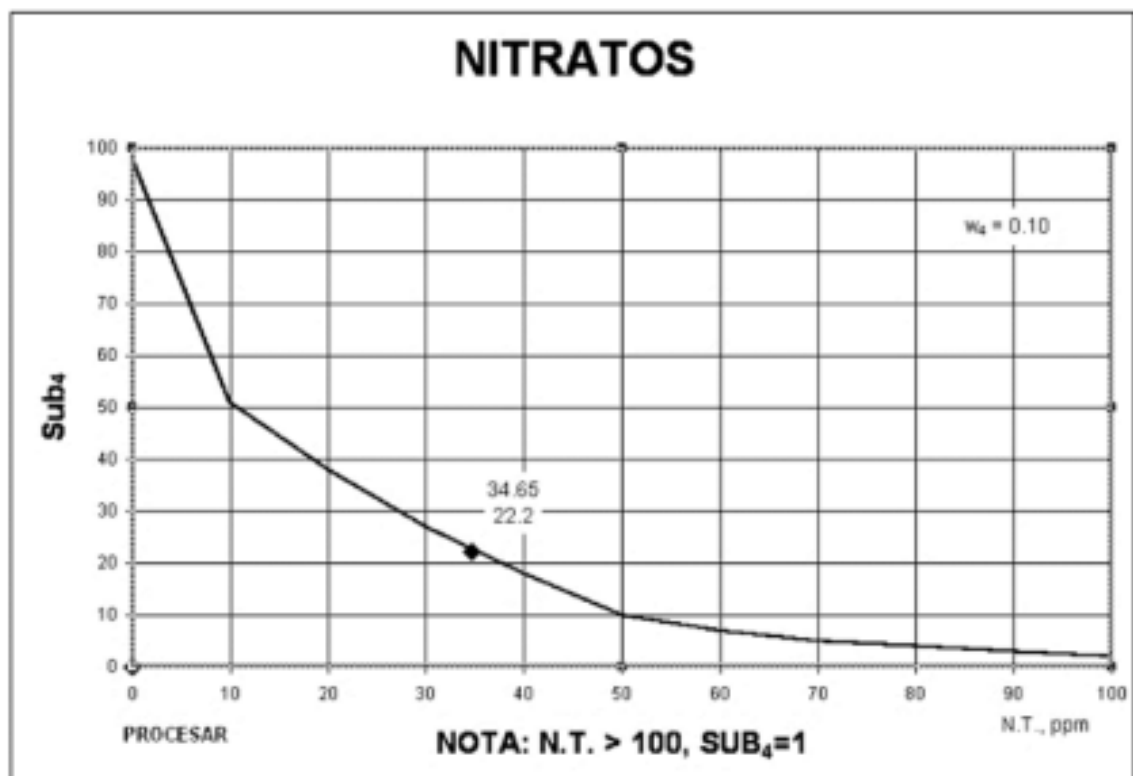
pH.



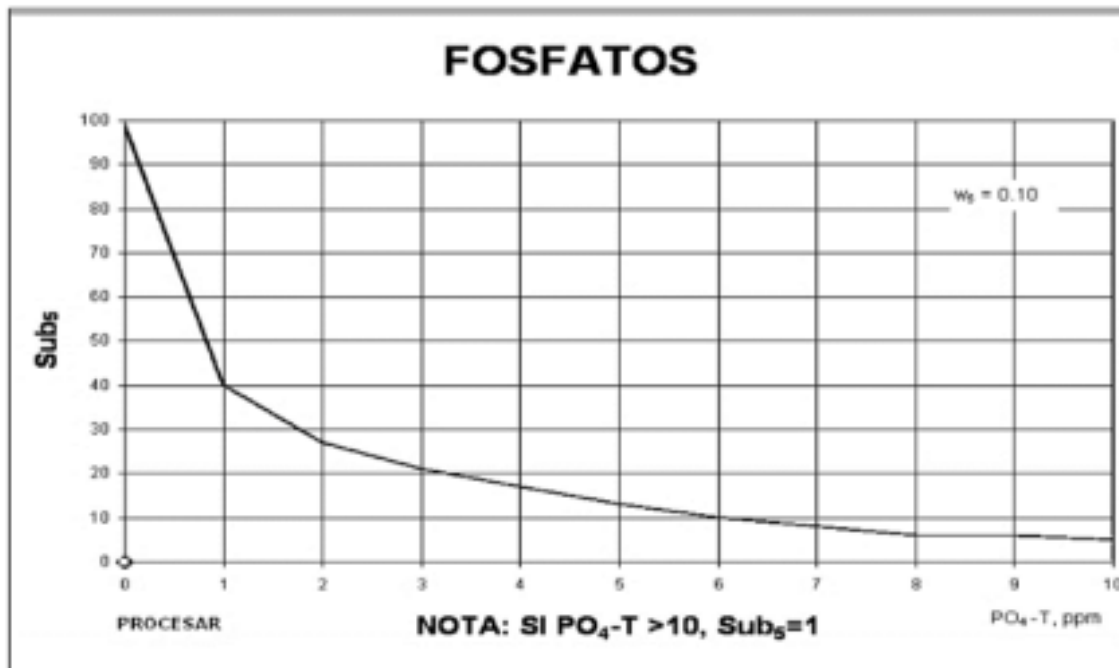
Demanda Bioquímica de Oxígeno.



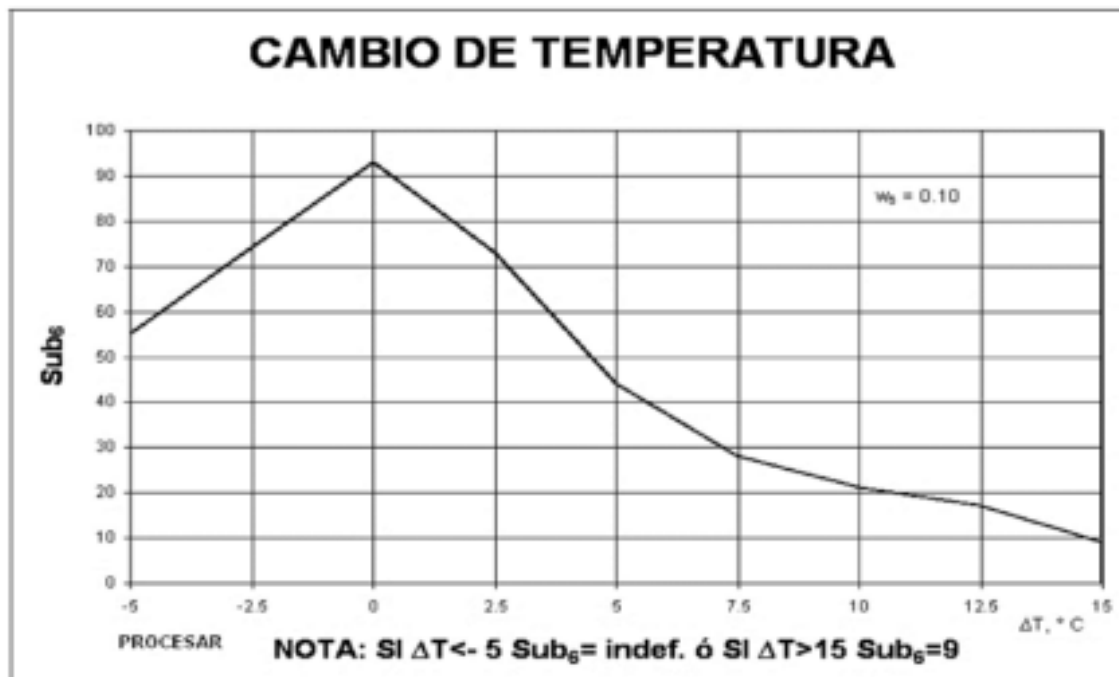
Nitratos.



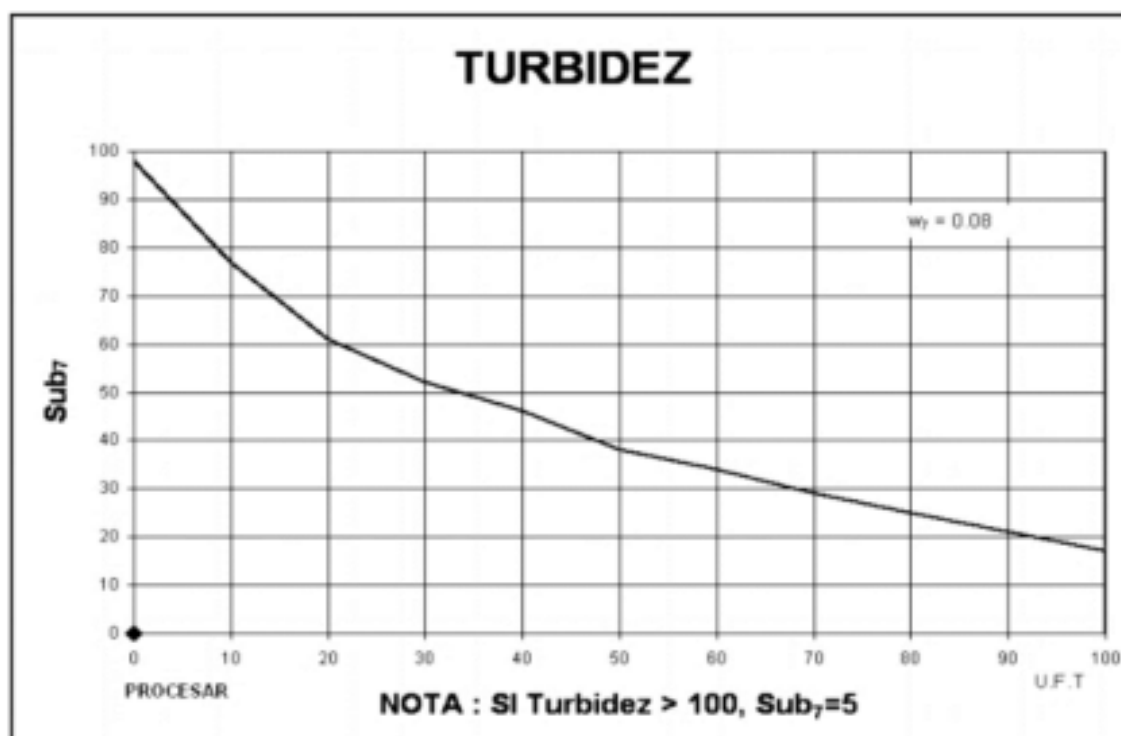
Fosfatos.



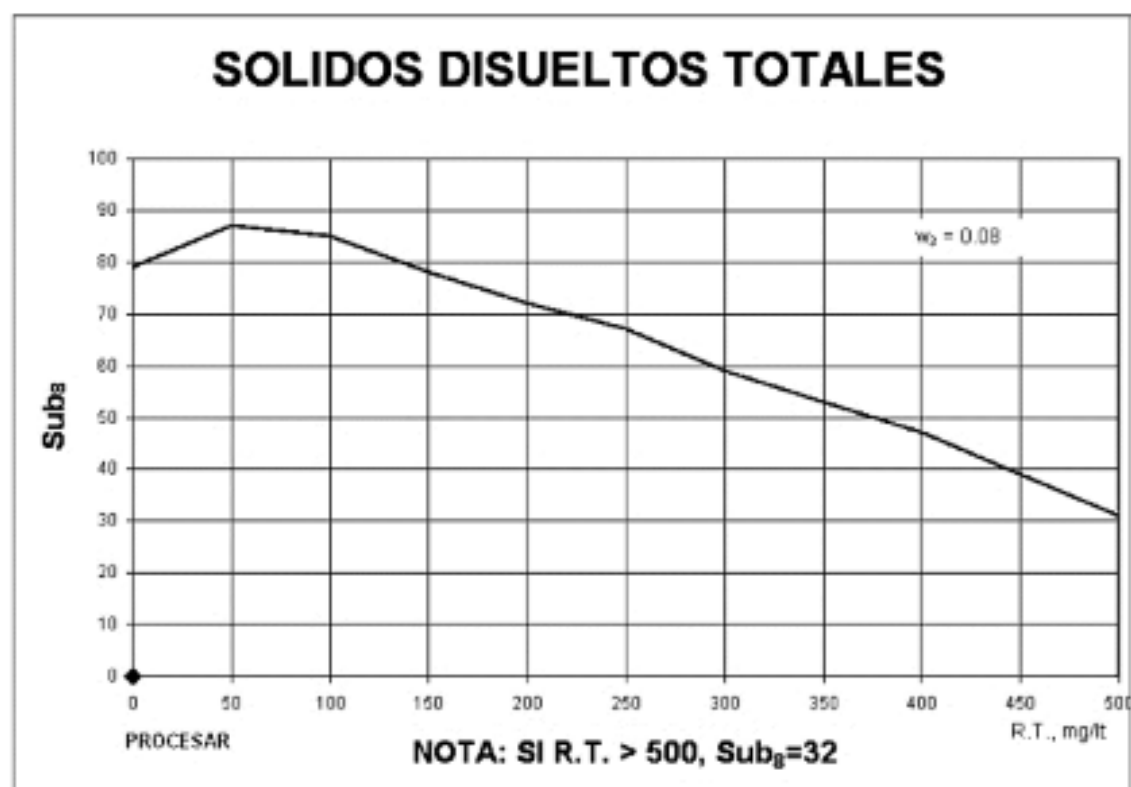
Cambio de temperatura. Para el parámetro de temperatura (Sub_5) se calcula la diferencia entre la T ambiente y la T muestra.

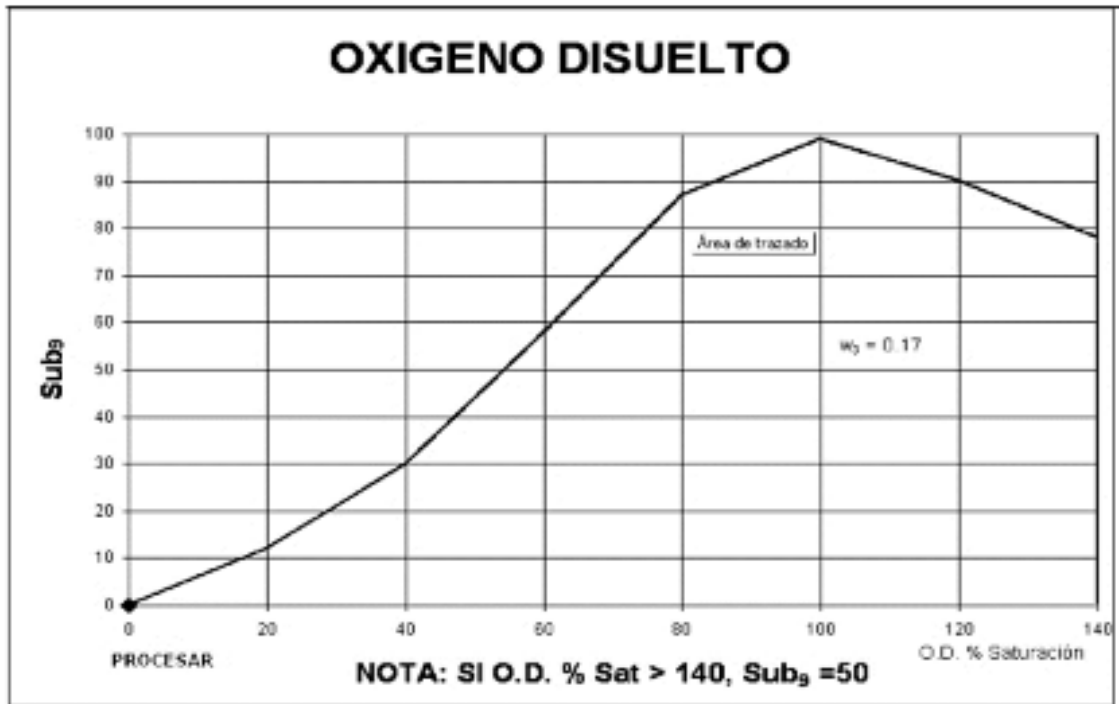


Turbidez.



Sólidos Totales Disueltos.



Porcentaje de Saturación de Oxígeno.

Anexo 5

Datos insitu y de laboratorios en época de estiaje

| MES DE MUESTREO (ÉPOCA DE ESTIAJE) | Noviembre | | | | Diciembre | | | | Enero | | | |
|--|------------|---------|---------|---------|------------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|
| FECHA | 21/11/2018 | | | | 19/12/2018 | | | | 22/01/2019 | | | |
| INDICADORES | Rmuyu-1 | Rmuyu-2 | Rmuyu-3 | Rmuyu-4 | Rmuyu-1 | Rmuyu-2 | Rmuyu-3 | Rmuyu-4 | Rmuyu-1 | Rmuyu-2 | Rmuyu-3 | Rmuyu-4 |
| Hora (a.m) | 10:50 | 11:20 | 11:40 | 12:05 | 11:00 | 11:30 | 12:00 | 12:20 | 10:00 | 10:30 | 11:00 | 11:20 |
| T° Ambiente (°C) | 24,5 | 26,00 | 26,50 | 23,00 | 25,00 | 26,50 | 24,00 | 25,00 | 22,56 | 25,17 | 26,03 | 23,45 |
| T° Agua °C | 19,56 | 24,11 | 23,34 | 21,64 | 20,72 | 20,84 | 20,60 | 19,89 | 19,56 | 24,11 | 23,34 | 21,64 |
| Presión (mmHg) | 563,50 | 565,70 | 565,70 | 567,00 | 564,70 | 566,80 | 567,00 | 567,20 | 563,50 | 565,70 | 565,70 | 567,00 |
| Conductividad lineal (mc/cm) | 379,00 | 349,00 | 350,00 | 354,00 | 275,00 | 235,00 | 259,00 | 254,00 | 257,00 | 286,00 | 234,00 | 219,00 |
| Oxígeno disuelto (mg/L) | 4,48 | 4,98 | 6,14 | 5,98 | 4,81 | 4,40 | 5,06 | 5,81 | 4,32 | 4,73 | 5,89 | 5,98 |
| pH | 7,64 | 7,88 | 7,78 | 7,72 | 8,11 | 8,09 | 8,07 | 8,07 | 7,28 | 8,00 | 6,80 | 6,85 |
| Turbidez (NTU) | 2,00 | 9,00 | 5,00 | 16,00 | 3,70 | 30,80 | 33,00 | 38,00 | 19,44 | 32,70 | 48,50 | 45,10 |
| RESULTADOS OBTENIDOS DEL LABORATORIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) | | | | | | | | | | | | |
| DBO ₅ (mg/L) | 32,00 | 22,00 | 38,00 | 40,00 | 37,00 | 40,00 | 36,00 | 35,00 | 42,00 | 42,00 | 43,00 | 44,00 |
| Coliformes Fecales (NMP/100 mL) | 1100,00 | 1300,00 | 800,00 | 2400,00 | 30000,00 | 80000,00 | 90000,00 | 16000,00 | 15000,00 | 15000,00 | 16000,00 | 16000,00 |
| RESULTADOS OBTENIDOS DEL LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA Y ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE LA UNSCH | | | | | | | | | | | | |
| Sólidos Suspendidos (mg/L) | 118,00 | 114,00 | 111,00 | 115,00 | 112,00 | 117,00 | 109,00 | 107,00 | 124,00 | 121,00 | 119,00 | 120,00 |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/L) | 239,00 | 229,90 | 225,40 | 244,73 | 223,70 | 214,60 | 212,80 | 213,90 | 185,70 | 200,70 | 215,90 | 206,70 |
| Alcalinidad (mg/L) | 54,70 | 65,35 | 62,23 | 52,24 | 65,80 | 60,00 | 62,50 | 61,30 | 59,80 | 62,40 | 58,60 | 60,80 |
| Dureza Total (mg CaCO ₃ /L) | 111,50 | 110,00 | 104,29 | 107,76 | 98,70 | 93,43 | 96,54 | 95,70 | 94,20 | 99,40 | 98,94 | 98,94 |
| Nitrato (mg/L) | 0,0062 | 0,0106 | 0,0082 | 0,0087 | 0,0015 | 0,0052 | 0,0007 | 0,0059 | 0,0025 | 0,0074 | 0,0010 | 0,0049 |
| Fosfato (mg PO ₄ /L) | 0,4577 | 0,4868 | 0,5051 | 0,4737 | 0,9371 | 0,7577 | 0,6377 | 0,4954 | 0,9428 | 0,7588 | 0,6383 | 0,5514 |

Anexo 6

Datos insitu y de laboratorios en época de lluvia

| DATOS OBTENIDOS INSITU CON EL MULTIPARÁMETRO | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|---------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|
| MES DE MUESTREO (ÉPOCA LLUVIOSO) | Febrero | | | | Marzo | | | | Abril | | | |
| FECHA | 25/02/2019 | | | | 15/03/2019 | | | | 15/04/2019 | | | |
| INDICADORES | Rmuyu-1 | Rmuyu-2 | Rmuyu-3 | Rmuyu-4 | Rmuyu-1 | Rmuyu-2 | Rmuyu-3 | Rmuyu-4 | Rmuyu-1 | Rmuyu-2 | Rmuyu-3 | Rmuyu-4 |
| Hora (a.m) | 08:20 | 08:50 | 09:10 | 09:30 | 10:20 | 10:50 | 11:20 | 11:40 | 09:50 | 10:20 | 10:50 | 11:25 |
| T° Ambiente (°C) | 21,00 | 20,50 | 19,00 | 21,00 | 19,00 | 21,5 | 20,3 | 19,8 | 20,80 | 19,90 | 20,20 | 19,70 |
| T° Agua °C | 16,60 | 16,62 | 16,71 | 16,76 | 15,2 | 17,5 | 17,5 | 16,6 | 16,80 | 16,00 | 16,50 | 15,50 |
| Presión (mmHg) | 563,70 | 565,90 | 566,40 | 567,40 | 565,50 | 567,80 | 569,10 | 569,20 | 565,50 | 567,80 | 569,10 | 569,20 |
| Conductividad lineal (mc/cm) | 464 | 524 | 532 | 495 | 518 | 475 | 458 | 421 | 432 | 521 | 534 | 491 |
| Oxígeno disuelto (mg/L) | 4,99 | 4,73 | 4,73 | 7,97 | 5,48 | 5,15 | 5,81 | 8,13 | 5,40 | 4,98 | 5,73 | 7,47 |
| pH | 7,50 | 7,69 | 7,37 | 6,91 | 6,52 | 6,81 | 6,89 | 6,91 | 6,60 | 6,93 | 6,55 | 6,80 |
| Turbidez (NTU) | 28,10 | 26,10 | 26,90 | 24,20 | 152,00 | 174,00 | 161,00 | 151,00 | 155,00 | 160,00 | 158,00 | 152,00 |
| RESULTADOS OBTENIDOS DEL LABORATORIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) | | | | | | | | | | | | |
| DBO ₅ (mg/L) | 70,00 | 60,00 | 69,00 | 60,00 | 42,00 | 38,00 | 41,00 | 36,00 | 48,00 | 35,00 | 46,00 | 40,00 |
| Coliformes Fecales (NMP/100 mL) | 300,00 | 300,00 | 800,00 | 300,00 | 200,00 | 240,00 | 300,00 | 300,00 | 205,00 | 220,00 | 280,00 | 300,00 |
| RESULTADOS OBTENIDOS DEL LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA Y ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE LA UNSCH | | | | | | | | | | | | |
| Sólidos Suspendidos (mg/L) | 180,00 | 205,00 | 198,00 | 200,00 | 205,00 | 204,00 | 196,00 | 202,00 | 198,00 | 196,00 | 201,00 | 210,00 |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/L) | 168,70 | 159,70 | 146,60 | 124,10 | 103,50 | 101,40 | 147,80 | 132,80 | 103,50 | 101,40 | 147,80 | 132,80 |
| Alcalinidad (mg/L) | 94,00 | 110,50 | 101,00 | 107,50 | 102,32 | 115,70 | 94,70 | 72,50 | 74,60 | 104,50 | 88,70 | 78,32 |
| Dureza Total (mg CaCO ₃ /L) | 192,01 | 190,22 | 192,01 | 184,83 | 198,81 | 212,36 | 194,29 | 198,81 | 192,70 | 175,18 | 170,80 | 166,42 |
| Nitrato (mg/L) | 0,0025 | 0,0062 | 0,0005 | 0,0087 | 0,2420 | 0,2509 | 0,2811 | 0,2019 | 0,2405 | 0,2499 | 0,2848 | 0,2034 |
| Fosfato (mg PO ₄ /L) | 0,3406 | 0,2977 | 0,2731 | 0,3354 | 0,3360 | 0,2406 | 0,2537 | 0,2554 | 0,3314 | 0,2446 | 0,2731 | 0,2771 |

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD 055-2024-UNSCH-EPG/EGAP

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 N^º 198-2021-UNSCH-EPG/D, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:

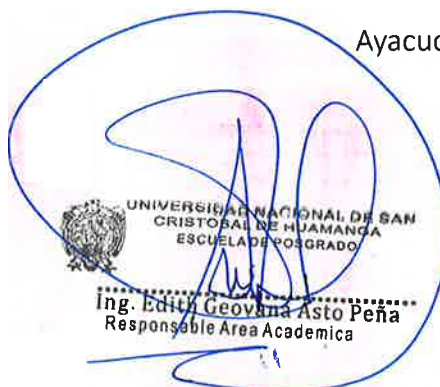
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

| | |
|---------------------------------------|--|
| AUTOR | Bach. Sonia Buitron Pizarro |
| 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 | Indice de calidad del agua (ICA) en la microcuenca del río Muyurina y propuesta de mejora para mitigar la contaminación ambiental, Huamanga - Ayacucho 2018 - 2019 |
| EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD | 19% de similitud |
| N ^º DE TRABAJO | 2345544760 |
| FECHA | 10 de abril de 2024 |

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 del interesado para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 10 de abril del 2024.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE POSGRADO
Ing. Edith Geovana Asto Peña
Responsable Area Academica

Indice de calidad del agua (ICA) en la microcuenca del río Muyurina y propuesta de mejora para mitigar la contaminación ambiental, Huamanga - Ayacucho 2018 - 2019

por Sonia Buitron Pizarro

Fecha de entrega: 10-abr-2024 08:44a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2345544760

Nombre del archivo: TESIS_BUITRON_PIZARRO_050424_OK.docx (4.79M)

Total de palabras: 28053

Total de caracteres: 152660

Indice de calidad del agua (ICA) en la microcuenca del río Muyurina y propuesta de mejora para mitigar la contaminación ambiental, Huamanga - Ayacucho 2018 - 2019

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----------|---|---------------|
| 1 | Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante | 13% |
| 2 | www.chj.es Fuente de Internet | 1% |
| 3 | repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 4 | qdoc.tips Fuente de Internet | <1% |
| 5 | pt.scribd.com Fuente de Internet | <1% |
| 6 | docplayer.es Fuente de Internet | <1% |
| 7 | repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet | <1% |
| 8 | Submitted to Pontificia Universidad Católica del Ecuador - PUCE | <1% |

| | | |
|----|---|------|
| 9 | Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante | <1 % |
| 10 | repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 11 | dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 12 | virtual.urbe.edu Fuente de Internet | <1 % |
| 13 | es.slideshare.net Fuente de Internet | <1 % |
| 14 | Submitted to Submitted on 1689039643516 Trabajo del estudiante | <1 % |
| 15 | repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 16 | repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 17 | rlc.fao.org Fuente de Internet | <1 % |
| 18 | HORIZONTE CONSULTORES S.R.L.. "Plan de Implementación para el Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles en la Unidad Minera Sipán-IGA0006223", R.D. N° 204-2013-MEM/AAM, 2020 Publicación | <1 % |

19

www.slideshare.net
Fuente de Internet

<1 %

20

1library.co
Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 30 words



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR
AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO (A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL
RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 00163-2023-UNSCH-EPG/D**

Siendo las 6:00 p.m. del 27 de Febrero de 2023 se reunieron en el auditorium 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. Emilio Germán RAMÍREZ ROCA** director de la Escuela de Posgrado, el **Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA** director de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, e integrado por los siguientes miembros: **Dr. Ybar Gustavo PALOMINO MALPARTIDA** y el **MSc. Pedro INGA ZARATE**; para la sustentación oral y pública de la tesis titulada: **INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) EN LA MICROCUENCA DEL RÍO MUYURINA Y PROPUESTA DE MEJORA PARA MITIGAR LA CONTAMINACION AMBIENTAL, HUAMANGA-AYACUCHO 2018-2019** . En la Ciudad de Ayacucho del 2023 presentado por la **Bach. Sonia BUITRON PIZARRO**, Teniendo como asesora al **Dr. Edgar Gregorio ARONES MEDINA**

Acto seguido se procedió a la exposición de la tesis, con el fin de optar al Grado Académico de **MAESTRO (A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL**. Formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por el graduando.

A continuación el Jurado Examinador y Calificador de tesis procedió a la votación, la que dio resultado el siguiente calificativo: 16 - (DIECISEIS)

| CALIFICACION (*) | |
|----------------------------|---|
| Aprobado por unanimidad | X |
| Aprobado por Mayoría | — |
| Desaprobada por Unanimidad | — |
| Desaprobada por mayoría | — |

(*) Marcar con aspa

Luego, el presidente del Jurado recomienda que la que la Escuela de Posgrado proponga que se le otorgue a la **Bach. Sonia BUITRON PIZARRO**, el Grado Académico de **MAESTRO (A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL** siendo las 8:00 pm hrs. Se levanta la sesión.

Se extiende el acta en la ciudad de Ayacucho, a las 8:00 pm hrs. Del 27 de febrero 2023.

.....
Dr. Emilio Germán RAMÍREZ ROCA
Director de la Escuela de Posgrado

.....
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Director de la Unidad de Posgrado – UPG-FIQM

.....
Dr. Ybar Gustavo PALOMINO MALPARTIDA
Miembro

.....
MSc. Pedro INGA ZARATE
Miembro

.....
Dr. Marco Rolando ARONES JARA
Secretario Docente

Observaciones:

.....

.....