

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

ESCUELA DE POSGRADO

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



TESIS

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO MUYURINA EMPLEANDO EL
MÉTODO DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICO), AYACUCHO 2018-2019**

Para optar el grado académico de **MAESTRA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

PRESENTADO POR:

Bach. Zulma JAYO CUELLAR

ASESOR:

Ing. Edgar G. ARONÉS MEDINA

AYACUCHO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A mis padres, hijas (Milagros, Camila y Fernanda); por el apoyo incondicional para el desarrollo de este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Manifiesto mi agradecimiento a mi querida alma mater, la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, mención Ingeniería Ambiental por los valiosos conocimientos adquiridos.

Al Ing. Edgar G. Aronés Medina por su gran labor como asesor de la presente investigación, brindándome su tiempo, recomendaciones y apoyo a cabalidad en el desarrollo de la tesis.

A todas las personas que de una u otra manera han colaborado con la consecución de este anhelado objetivo mis más sinceros agradecimientos.

ÍNDICE

	Página
CARÁTULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Formulación del problema	5
1.2.1. Problema principal.....	5
1.2.2. Problemas secundarios.....	5
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Hipótesis	6
1.4.1. Hipótesis general.....	6
1.4.2. Hipótesis específicas	6
1.5. Justificación.....	6
1.6. Delimitación del problema	7
1.6.1. Delimitación espacial	7
1.6.2. Delimitación temporal.....	8
II. MARCO TEÓRICO.....	9

2.1.	Antecedentes de la investigación	9
2.1.1.	Internacional	9
2.1.2.	Nacional	11
2.1.3.	Local	12
2.2.	Bases teóricas	13
2.2.1.	El agua	13
2.2.2.	Demanda del recurso Hídrico	15
2.2.3.	Contaminación del agua	17
2.2.4.	Escasez del agua	19
2.2.5.	Calidad del agua	20
2.2.6.	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	21
2.2.6.1.	Alcalinidad	21
2.2.6.2.	Coliformes totales	21
2.2.6.3.	Conductividad	21
2.2.6.4.	Demanda Bioquímica de Oxígeno	22
2.2.6.5.	Dureza	23
2.2.6.6.	Fósforo	23
2.2.6.7.	Oxígeno Disuelto	24
2.2.6.8.	Potencial de hidrógeno (pH)	24
2.2.6.9.	Sólidos Suspendidos Totales	25
2.2.6.10.	Temperatura	25
2.2.7.	Índices de contaminación	26
2.2.7.1.	Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)	27
2.2.7.2.	Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)	28
2.2.7.3.	Índice de contaminación por pH (ICOpH)	29
2.2.7.4.	Índice de contaminación por trofía (ICOTRO)	29
2.2.7.5.	Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)	30

2.3.	Marco conceptual.....	30
2.4.	Marco legal.....	32
III.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	37
3.1.	Tipo y nivel de investigación.....	37
3.2.	Diseño de investigación.....	38
3.3.	Operacionalización de la variable.....	38
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	39
3.4.1.	Técnicas de recolección de datos	39
3.4.1.1.	Planificación del monitoreo	40
3.4.1.2.	Toma de muestra	41
3.4.1.3.	Conservación y preservación de la muestra.....	44
3.4.1.4.	Rotulado y etiquetado.....	48
3.4.2.	Instrumentos de recolección de datos	48
3.4.2.1.	Equipos	48
3.4.2.2.	Materiales	49
3.4.2.3.	Reactivos	50
3.5.	Técnicas de procedimiento y análisis de datos.....	50
3.5.1.	Técnicas de procedimiento	51
3.5.2.	Análisis de datos	56
3.5.2.1.	Análisis básicos	56
3.5.2.2.	Análisis volumétrico.....	56
3.5.2.3.	Análisis gravimétricos.....	56
3.5.2.4.	Análisis colorimétricos.....	57
3.5.2.5.	Análisis microbiológico	57
3.5.2.6.	Espectrofotometría	57
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.1.	Conductividad	59

4.2.	Dureza.....	60
4.3.	Alcalinidad.....	61
4.4.	Sólidos Suspendidos Totales	63
4.5.	Potencial de hidrógeno.....	64
4.6.	Oxígeno Disuelto	67
4.7.	Variación de temperatura	68
4.8.	Fosfatos	69
4.9.	Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	71
4.10.	Coliformes totales.....	73
4.11.	Índices de contaminación	75
4.11.1.	Índices de contaminación por la mineralización.....	76
4.11.2.	Índices de contaminación por materia orgánica.....	77
4.11.3.	Índices de contaminación por pH	79
4.11.4.	Índices de contaminación por sólidos suspendidos	80
4.11.5.	Índice de contaminación por trofia.....	82
4.12.	Propuesta de mejora.....	84
CONCLUSIONES.....		92
RECOMENDACIONES		93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		94
ANEXOS.....		102

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Fuentes antropogénicas de contaminación de los recursos hídricos en el Perú	18
Tabla 2 Estado del Agua según del DBO5	23
Tabla 3 Interpretación de la dureza del agua	23
Tabla 4 Calificación de la calidad del agua según los valores que tomen los índices de contaminación	26
Tabla 5 Parámetros medidos por los índices de contaminación	27
Tabla 6 Resumen del marco legal	33
Tabla 7 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, D.S. N° 004 – 2017-MINAM	35
Tabla 8 Operacionalización de variables	39
Tabla 9 Coordenadas UTM de los puntos de muestreo evaluado	41
Tabla 10 Conservación y preservación de muestra de agua para el ICOMI evaluado	45
Tabla 11 Conservación y preservación de muestra de agua para el ICOMO	45
Tabla 12 Conservación y preservación de muestra de agua para el ICOpH, ICOSUS y ICOTRO	46
Tabla 13 Parámetros necesarios para el ICO	46
Tabla 14 Detalle de los puntos de muestreo	59
Tabla 15 Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en los cuatro puntos de muestreo, ECA para agua categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM y datos estadísticos	59
Tabla 16 Lecturas de dureza (mg/L) en los cuatro puntos de muestreo y datos estadísticos	60
Tabla 17 Lecturas de alcalinidad (mg/L) en los cuatro puntos de muestreo y datos estadísticos	62
Tabla 18 Lecturas de Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) en los cuatro puntos de muestreo y datos estadísticos	63
Tabla 19 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	65
Tabla 20 Lecturas de OD (mg/L) en los cuatro puntos de muestreo, ECA para agua categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM y datos estadísticos	67
Tabla 21 Variación de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en los cuatro puntos por cada muestreo y	

datos estadísticos	68
Tabla 22 Fosfatos en los cuatro puntos por cada muestreo y datos estadísticos	70
Tabla 23 DBO ₅ (mg/L) en los cuatro puntos de muestreo, ECA para agua categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM y datos estadísticos	72
Tabla 24 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	74
Tabla 25 Calificación de la calidad del agua según los valores que tomen los índices de contaminación	76
Tabla 26 ICOMI en los cuatro puntos de muestreo	77
Tabla 27 ICOMO en los cuatro puntos de muestreo	79
Tabla 28 ICOpH en los cuatro puntos de muestreo	80
Tabla 29 ICOSUS en los cuatro puntos de muestreo	81
Tabla 30 ICOTRO en los cuatro puntos de muestreo	82
Tabla 31 Resumen de los ICOs del cuerpo de agua del río Muyurina en época de estiaje	83
Tabla 32 Resumen de los ICOs del cuerpo de agua del río Muyurina en época de lluvia	84
Tabla 33 ICOs por cada estación de muestreo del cuerpo de agua del río Muyurina	85

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Ubicación de las estaciones de muestreo	8
Figura 2 Asociaciones de moléculas de agua	14
Figura 3 Uso y demanda del recurso hídrico	15
Figura 4 Uso primario del recurso hídrico	17
Figura 5 Diagrama de los usos y derechos de uso del agua	17
Figura 6 Fuentes de contaminación de los recursos hídricos	19
Figura 7 Relación entre los Sólidos Disueltos Totales (SDT) y la conductividad Eléctrica (EC)	22
Figura 8 Fases del monitoreo	40
Figura 9 Esquema de toma de muestra en época de estiaje	42
Figura 10 Esquema de toma de muestra en época de lluvia	43
Figura 11 Esquema de la organización de puntos de muestreo	44
Figura 12 Distribución de los valores mínimos, máximos, medias de la conductividad de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses y ECA para agua categoría 3	60
Figura 13 Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios de dureza de las aguas del río Muyurina en los cuatro puntos de muestreo determinadas en seis meses	60
Figura 14 Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios de alcalinidad de las aguas del río Muyurina en los cuatro puntos de muestreo determinadas en seis meses	62
Figura 15 Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios de Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) de las aguas del río Muyurina en los cuatro puntos de muestreo determinadas en seis meses	64
Figura 16: 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	66
Figura 17 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	68
Figura 18 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	69
Figura 19: 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	71
Figura 20 Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios de la DBO ₅ de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses y ECA para agua categoría 3	72
Figura 21 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	75
Figura 22 Evaluación de la calidad del agua del río Muyurina mediante el índice de contaminación por mineralización	77
Figura 23 Evaluación de la calidad del agua del río Muyurina mediante el índice de contaminación orgánica	78
Figura 24 Evaluación de la calidad del agua del río Muyurina mediante el índice de contaminación por pH	80
Figura 25 Evaluación de la calidad del agua del río Muyurina mediante el índice de contaminación de sólidos suspendidos	81
Figura 26 La gestión del agua e instituciones involucradas	87
Figura 27 Espacio de coordinación de la gestión del recurso hídrico	88
Figura 28 Línea de acción 2: Protección de la calidad de los Recursos Hídricos	89
Figura 29 Plan de acción de la línea de acción 2: Protección de la calidad de los Recursos Hídricos	90
Figura 30 Indicadores y resultado del plan de acción de la línea de acción 2: Protección de la calidad de los Recursos Hídricos	91

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Panel fotográfico
Anexo 2	Flujograma de la metodología
Anexo 3	Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA)
Anexo 4	Procedimientos para la obtención de los parámetros fisicoquímicos de recursos hídricos
Anexo 5	Índices de Número Más Probable NMP, para distintas combinaciones de resultados positivos, cuando se utilizan 5 y 3 tubos por dilución, respectivamente
Anexo 6	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua D.S. N° 004 – 2017-MINAM
Anexo 7	Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos
Anexo 8	Datos obtenidos in situ y resultados obtenidos de laboratorios en época de estiaje
Anexo 9	Datos obtenidos in situ y resultados obtenidos de laboratorios en época de lluvia
Anexo 10	Matriz de consistencia

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo la evaluación de los Índices de Contaminación para el Río Muyurina empleando el método de los Índices de Contaminación (ICOs). Se establecieron 4 estaciones de muestreo en el tramo de las uniones de los ríos Alameda y Huatatas que forman el río Muyurina, y se realizaron 6 muestreos: 3 muestreos en época de estiaje y 3 muestreos en época de lluvia; los meses de toma de muestras fueron: noviembre, diciembre del 2018 y los meses de enero, febrero, marzo y abril del 2019. Se analizaron los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el método de los índices de contaminación, observándose mayor índice de incidencia en el de materia orgánica como resultado de grado de contaminación “Alta” en el punto de estación 1 y 2 en época de estiaje, también se identificaron altas medidas de conductividad en los cuerpos de agua que se vean afectados por vertimientos de iones, aumentando el índice de contaminación por mineralización. La contaminación por sólidos suspendidos en el cuerpo de agua varía en los cuatro puntos de estación durante su recorrido, observándose mayor contaminación en época de lluvia respecto a la época de estiaje. Los parámetros analizados fueron: Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), dureza (mg/L), alcalinidad (mg/L), DBO_5 (mg/L), SST (mg/L), Coliformes Fecales (NMP/100 mL), % saturación de oxígeno, pH y fosfatos (mg/L); con estos 9 parámetros se calcularon los Índices de Contaminación (ICOs) para el río Muyurina como son el ICOMI, ICOMO, ICOPH, ICOSUS e ICOTRO. Para poder comparar el valor de cada uno de los ICOs se efectuó la prueba “no paramétrica” de Kruskal - Wallis, en base a las características físicas, químicas y microbiológicas, asimismo se empleó los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua de categoría 3, según D.S. N°004-2017-MINAM. Los Índices de Contaminación para el río Muyurina resultaron: ICOMI de grado de contaminación “Media” en la época de estiaje y en época de lluvia “Alta”, ICOMO que reporta contaminación “Alta” y “Baja” en época de estiaje y lluvia respectivamente, ICOPH de grado de contaminación “Ninguna” tanto para época de estiaje y lluvia, ICOSUS de grado de contaminación “Baja” en estiaje y “Media” en época de lluvia y un ICOTRO que registra “Eutrófico” para ambas épocas. De acuerdo a la investigación se sugiere la formulación y la aplicación de un plan de ordenamiento ambiental, acciones en saneamiento y manejo de vertimientos que sean participativos e incluyentes cuya base de formulación tenga atributos ecológicos.

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

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the Contamination Indices for the Muyurina River using the method of Contamination Indices (ICOs). Four sampling stations were established in the stretch of the junctions of the Alameda and Huatatas rivers that form the Muyurina River, and 6 samplings were carried out: 3 samplings in low water season and 3 samplings in rainy season; the months of sampling were: November, December 2018 and the months of January, February, March and April 2019. The physical, chemical and microbiological parameters were analyzed for the contamination indexes method, observing a higher incidence index in organic matter as a result of "High" contamination degree in station point 1 and 2 in low water season, also high conductivity measurements were identified in the water bodies that are affected by ion discharges, increasing the contamination index by mineralization. Contamination by suspended solids in the water body varies at the four station points along its course, with greater contamination being observed during the rainy season compared to the dry season. The parameters analyzed were: conductivity (μ S/cm), hardness (mg/L), alkalinity (mg/L), BOD5 (mg/L), TSS (mg/L), fecal coliforms (NMP/100 mL), % oxygen saturation, pH and phosphates (mg/L); with these 9 parameters, the Contamination Indices (ICOs) for the Muyurina river were calculated, such as ICOMI, ICOMO, ICOpH, ICOSUS and ICOTRO. In order to compare the value of each of the ICOs, the "non-parametric" Kruskal - Wallis test was performed, based on the physical, chemical and microbiological characteristics, likewise, the Environmental Quality Standards (ECA) for category 3 water, according to D.S. N° 004-2017-MINAM, was used. The Contamination Indices for the Muyurina River resulted in: ICOMI of "Medium" pollution degree in low water and "High" in rainy season, ICOMO that reports "High" and "Low" pollution in low water and rainy season respectively, ICOpH of "None" pollution degree for both low water and rainy season, ICOSUS of "Low" pollution degree in low water and "Medium" in rainy season and an ICOTRO that registers "Eutrophic" for both seasons. According to the research, the formulation and application of an environmental management plan is suggested, as well as actions in sanitation and wastewater management that are participatory and inclusive and whose basis of formulation has ecological attributes.

Key words: Muyurina River, Contamination Index, water quality parameters.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, se ha visto que el crecimiento de la población a nivel mundial, ha incrementado los niveles de contaminación, y está relacionada con el vertido de agua de desecho de origen doméstico e industrial a los cuerpos de agua (UNESCO, 2016). En el caso de los residuos de origen doméstico, la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos de origen fecal (Arcos, 2005)

La contaminación de los cuerpos hídricos está relacionada con los vertimientos de origen doméstico, la carga contaminante está reflejada por el aumento de materia orgánica y microorganismos. La determinación de parámetros de contaminación microbiológica, orgánica y química del agua de consumo y de vertido, demanda una serie de análisis enmarcado a conocer la calidad de las fuentes hídricas (Tejo & Chiquito, 2017).

En nuestro país, durante los últimos años sucede la problemática ambiental de contaminación de cuerpos hídricos, que está asociada al vertimiento de aguas residuales domésticas sin tratamiento, el uso de los ríos como botaderos de la población aledaña y externos. Este contexto no es para nada ajeno al río Muyurina, más aún que en su recorrido se encuentra afectado por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR Totorá).

Para evaluar las fuentes hídricas, los índices de calidad y contaminación, se han convertido en una herramienta fundamental para el monitoreo de las condiciones de los cuerpos de agua, mediante la utilización de parámetros físicos, químicos y microbiológicos esto tomado como una base para el cálculo de los mismos. Los índices se desarrollaron con base en legislaciones de diversos países, acordes con las concentraciones de las distintas variables y los usos potenciales de las aguas. Dichos índices de contaminación (ICOs) son: ICOMI o de mineralización, ICOMO o de contaminación orgánica, ICOSUS relativo a los sólidos suspendidos, e ICOTRO o trofia del sistema. Los índices son de fácil estimación (matemática o gráficamente) y permiten puntualizar el tipo de problema ambiental existente (Cañas, 2010).

En este sentido, la presente tiene como finalidad evaluar el nivel de contaminación del río Muyurina empleando el método de los índices de contaminación ICOs teniendo en

cuenta las variables fisicoquímicas y microbiológicas necesarias. En el capítulo I, se tiene el planteamiento del problema, se describen los objetivos e hipótesis; en el capítulo II se desarrolla el marco teórico que engloba los antecedentes considerados para la presente investigación, bases teóricas para construir el conocimiento; en el capítulo III, se plantea la metodología; en el capítulo IV se presenta la interpretación de los resultados y su correspondiente discusión. Asimismo, se detallan las conclusiones en base a los objetivos planteados y las recomendaciones de la investigación.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En los últimos tiempos ha empeorado la situación de la acogida hídrica en el mundo, a causa del rápido crecimiento de la población de la zona urbana, ya que en la actualidad, más de la mitad de la población mundial vive en zonas urbanas y se proyecta que para el año 2025 esa proporción se elevaría a un 60 % y a este problema va sumado el aumento de la actividad industrial, sometiendo a una gran presión el recurso hídrico en diversos países, al punto que ya se puede decir que la cantidad de agua existente para todos los usos está escaseando (Secretaria del Medio Ambiente, 2014).

El agua es considerada un elemento fundamental para el desarrollo socioeconómico y está en el epicentro del desarrollo sostenible, así como también es fundamental para la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y para la supervivencia de los seres humanos. El agua también forma parte importante de la adaptación al cambio climático, y es un decisivo vínculo entre la sociedad y el medioambiente.

En este contexto, el agua dulce como recurso, se ve cada vez más reducido por la contaminación, alrededor de 2 millones de toneladas de desechos (industriales y químicos, vertidos humanos y desechos agrícolas, como fertilizantes, pesticidas y residuos de pesticidas) son arrojados diariamente a las corrientes de agua. Considerando que un litro de agua residual contamina ocho litros de agua dulce, la carga mundial de contaminación puede ascender actualmente a 12,000 km³. En ese entender, se afirma que, las poblaciones más pobres resultan siendo las más afectadas, ya que un 50% de la población de los países en desarrollo están expuestas a fuentes de agua contaminadas (UNESCO, 2016).

La contaminación es la introducción de una médula en el medio ambiente a niveles que llevan a la pérdida del uso benéfico de un recurso o la degradación de la salud de los

seres humanos, la vida silvestre o los ecosistemas. Los contaminantes se descargan en sistemas acuáticos desde fuentes puntuales (ubicaciones estacionarias como una tubería de efluentes) y desde fuentes no puntuales (también llamadas difusas) como el deslizamiento de la tierra y la atmósfera. El flujo de masa de un contaminante se denomina su carga y se expresa en unidades de masa por unidades de tiempo (Mihelcic & Zimmerman, 2011). Por lo tanto, la contaminación del agua se ha convertido en un problema grave a nivel mundial. Las aguas dulces del mundo constituyen un recurso escaso, amenazado y en peligro. Los ríos se están convirtiendo en receptores de diversas sustancias contaminantes, representando un riesgo para las diversas especies acuáticas.

En el Perú, la contaminación del agua de los ríos es originada principalmente por el vertimiento de relaves mineros (parte alta y media de la cuenca), aguas servidas urbanas y desagües industriales a lo largo de todo su cauce (generalmente en la parte media y baja de la cuenca). Dicha contaminación es resultado de la presencia de elementos físicos, químicos y biológicos, que, en altas concentraciones, son dañinos para la salud humana y el ecosistema. Es decir, que la calidad de agua también se ve presuntuosa por el uso de plaguicidas y pesticidas en la actividad agrícola. Todo ello, es un problema que ocasiona un gasto adicional en el tratamiento del elemento, es decir, cuanto más contaminada esté el agua, mayor es el costo del proceso para reducir el elemento contaminante. El agua de los ríos son recursos hídricos vulnerables a la contaminación (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2018). En este aspecto, el incremento de la contaminación de los ríos provoca que estos recursos naturales se conviertan en inadecuados para el uso de la población. Debido a que los ríos constituyen los principales recursos hídricos para el abastecimiento doméstico, industrial y de riego, es indispensable advertir y controlar la contaminación. Para ello, es necesario identificar las fuentes de contaminación, como consecuencia de las actividades antropogénicas.

El río Muyurina está formado por la confluencia del río Alameda y Huatatas, es probable que esté contaminado, debido a que ella se descarga efluentes líquidos de distintas fuentes, tales como lavado de vehículos, lavado de prendas, alcantarillas, crianza de animales, residuos sólidos. Asimismo, se observa que se tiene crecimiento de la población en márgenes del río, construyendo viviendas y recreos, que descargan aguas residuales y residuos sólidos al río Muyurina.

El presente trabajo de investigación está orientado a la evaluación de la contaminación

del agua del río Muyurina aplicando el método Índice de Contaminación (ICOs) encuentran en escalas de alerta como “Alto” o “Muy alto” que perjudiquen la salud humana y el medio ambiente. El resultado y la investigación permitirá determinar las fuentes y factores principales que están contaminando el río Muyurina.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema principal

¿Cuál es el nivel de contaminación del río Muyurina empleando el método de los Índices de Contaminación (ICOs), en la región Ayacucho en el año 2018-2019?

1.2.2. Problemas secundarios

- a) ¿Cuáles son los parámetros relacionados con el índice de Contaminación del río Muyurina?
- b) ¿Cuáles son los valores de los Índices de Contaminación del río Muyurina?
- c) ¿Cuál es la escala de los índices de contaminación (ICOs) del agua del río Muyurina?
- d) ¿Cuál es la propuesta de mejora para los ICOs del río Muyurina en base a los factores contaminantes?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el nivel de contaminación del río Muyurina empleando el método de los Índices de Contaminación (ICOs), en la región de Ayacucho en el año 2018-2019.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Determinar los parámetros relacionados con el índice de contaminación del río Muyurina.
- b. Determinar los valores de los Índices de contaminación del río Muyurina.
- c. Establecer la escala de los índices de contaminación (ICOs) del agua del río Muyurina.
- d. Presentar una propuesta de mejora para los ICOs del río Muyurina en base a los factores contaminantes.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Los Índices de Contaminación del Agua (ICOs) del río Muyurina tiene el grado de contaminación “Alta” año 2018-2019 por lo que es necesario una propuesta de mejora.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) Los parámetros relacionados con el Índice de Contaminación del río Muyurina son: la DBO_5 (mg/L) % Oxígeno Disuelto, Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) y fósforo (mg/L).
- b) Los valores de Índices de Contaminación del río Muyurina se encuentran en el rango de 0,4-0,8; que significa incidencia importante de contaminación.
- c) La escala de los índices de Contaminación del Agua (ICOs) del río Muyurina se encuentra entre contaminación “Media” y “Alta”.
- d) La propuesta de mejora para los ICOs del río Muyurina proporcionará alcances que ayudaría en la toma de acciones de las autoridades correspondientes.

1.5. Justificación

El río Muyurina ubicado en la región de Ayacucho, viene sirviendo como receptor de una serie de efluentes, observando con preocupación la contaminación de sus aguas, como consecuencia de las actividades antropogénicas que generan desechos de origen inorgánico y orgánico. Las aguas del río Muyurina son utilizados en la agricultura, ganadería y recreación, siendo de importancia la evaluación del nivel de contaminación que tiene el río. Además, el río Muyurina es afluente del río Chacco, y estos ríos son utilizados a lo largo de su recorrido principalmente en la actividad agropecuaria y consumo doméstico poniendo gran riesgo la salud de la población.

En base a los resultados de la investigación se deben realizar propuestas y tomar decisiones en el plan de manejo ambiental con la finalidad de restablecer la calidad del agua del río Muyurina. Es trascendente que la sociedad tenga conocimiento si el agua del río Muyurina son un riesgo para la salud pública y como viene afectando a los recursos naturales con el consiguiente deterioro.

La investigación es importante porque a la fecha no se cuenta con un estudio sobre el nivel de contaminación del río Muyurina mediante la determinación de los Índices de

Contaminación (ICOs), siendo una propuesta de metodología nueva, cuyos resultados contribuirán a establecer los factores que vienen contaminando el río Muyurina, para que las autoridades competentes tomen las medidas necesarias a mitigar la contaminación del río. Es también necesaria para las poblaciones del ámbito del río Muyurina, porque sus aportes pueden contribuir a crear una mayor conciencia de la problemática de contaminación de los ríos.

1.6. Delimitación del problema

1.6.1. Delimitación espacial

La investigación comprende con la delimitación espacial que se menciona a continuación.

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

A continuación, se describe las estaciones de muestreo:

Estación de muestreo 1: El primer punto de estación se consideró 100 m abajo desde la unión de los ríos Alameda y Huatatas.

Estación de muestreo 2: El segundo punto de estación se consideró a una distancia de 1 324,54 m abajo del primer punto de estación, el cual es el Centro Poblado Viña Chiquita.

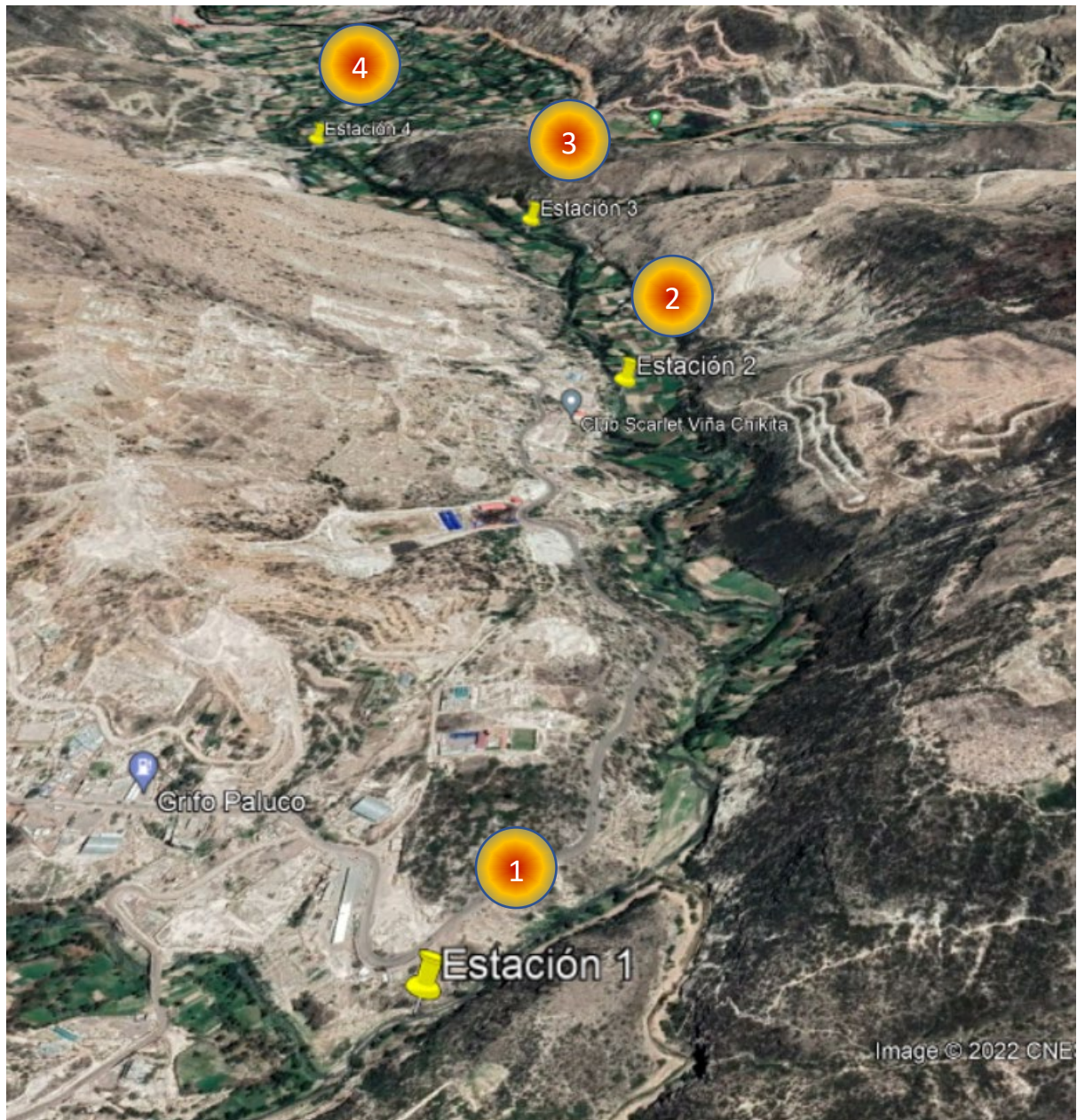
Estación de muestreo 3: El tercer punto se encuentra ubicada entre los Centros Poblados Rumichaca Baja y frente al Centro Poblado Viña Chiquita a una distancia de 789,32 m abajo del segundo punto de estación.

Estación de muestreo 4: El cuarto punto de estación se encuentra 100 m antes del puente del río Muyurina, encuentro de los ríos Muyurina y Niño Yucaes, se consideró a una distancia de 748,10 m abajo del tercer punto de estación.

El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de control de calidad de la PTAR Totorá y en el laboratorio de Química Analítica de la facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Figura 1

Ubicación de las estaciones de muestreo



1.6.2. Delimitación temporal

El período de evaluación para la investigación se efectuó en las épocas de estiaje y lluvia en el año 2018 y 2019.

Se establecieron 4 estaciones de muestreo en el tramo de las uniones de los ríos Alameda y Huatatas que forman el río Muyurina, y se realizaron 6 muestreos:

- Tres (03) muestreos en época de estiaje (noviembre, diciembre y enero).
- Tres (03) muestreos en época de lluvia (febrero, marzo y abril).

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacional

- Díaz, Quintero, Lozano, Fonseca, & Valdes (2017), según la investigación “RÍOS TEJO Y CHIQUITO: EVALUACIÓN DE LOS ICOs DENTRO DE LA ESTRUCTURA URBANA DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER” tiene como objetivo evaluar los índices de contaminación para los ríos Tejo y Chiquito dentro del casco urbano a Ocaña; la metodología empleada se basó en escoger seis puntos de muestreo importantes en temporadas de lluvia y estiaje, incluyendo casi en su totalidad las dos fuentes hídricas, se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para la utilización de los índices de contaminación. En terminación se obtuvo que el índice de mayor incidencia es materia orgánica, como resultado un grado de contaminación muy elevado en todo el tramo de estudio (exceptuando el punto de la Pradera, el cual es el punto de nacimiento del río Chiquito), también se identifican altas medidas de conductividad que muestran que los cuerpos de aguas se vean afectados por vertimientos de iones, aumentando el índice de contaminación por mineralización. La contaminación por sólidos suspendidos es variada en los seis puntos de muestreo, observándose un comportamiento natural de los cuerpos de agua durante su recorrido por el casco urbano. Se recomienda la formulación y aplicación de un plan de ordenamiento ambiental, acciones en saneamiento y manejo de vertimientos en la que la base de formulación tenga atributos del tipo ecológicos y conciencia de los bienes y servicios que estos ofrecen.

- Montero & Ramírez (2018), según la investigación “ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD EN LA CALIDAD DEL AGUA, A PARTIR DEL USO DE INDICES DE CONTAMINACIÓN (ICOs) COMO APOORTE AL POMCA DE LA CUENCA DEL RÍO GUAYURIBA” realizó un diagnóstico comparativo de la variabilidad de la calidad del agua haciendo uso de los índices de contaminación como un acercamiento a la caracterización general de las aguas superficiales de la cuenca del Río Guayariba localizando en jurisdicción del departamento del meta y de corporación del desarrollo sostenible del área de manejo especial la macarena (CORMACARENA). La metodología radicó en el empleo de los índices de contaminación (ICOs) estimados a partir de información primaria recolectada en 6 (seis) puntos con 6 (seis) repeticiones de medición distribuidos especialmente en la cuenta, por lo tanto, se contó con 36 muestras a las que se efectuó los cálculos en campo (In situ) y en el laboratorio (Ex situ). Los resultados se analizaron en dos momentos (estadístico de los parámetros y comparativo de los índices), por lo que se concluye en lo siguiente; para el primero se encontraron las diferentes significativas de los resultados de los parámetros del 2018, cuanto al segundo se compararon los resultados de los índices de contaminación para el 2010-2018; de modo que fue posible forjar un documento apto que se presentará los resultados obtenidos en la investigación como insumo para el POMCA de la cuenca (Montero & Ramírez, 2018).
- Chavarro & Gelvez (2016), según la investigación “CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE LA QUEBRADA FUCHA UTILIZANDO LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN ICO CON RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN Y USOS DEL SUELO”, tuvo como objetivo caracterizar la calidad de las aguas de las quebradas Fucha a través de los índices de contaminación ICOs con respecto a los usos del suelo en diferentes épocas del año 2015. En la metodología se tiene la medición de variables fisicoquímicas en seis muestreos y en tres puntos de la quebrada, se calcularon cuatro índices de contaminación (ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO); a estos se les realizó un análisis multivariado de correlación incluyendo la precipitación y los usos del suelo como variable indicadora, se determinó el grado de correlación a través de regresiones simples para dos pares de variables. Adicionalmente se realizó un ANOVA con los usos del suelo y los valores obtenidos de los índices. Como conclusiones se tiene que no se encontró contaminación por mineralización y la quebrada en general presentó condiciones eutróficas, de igual manera se pudo establecer una correlación estadísticamente significativa entre la precipitación y el índice de contaminación trófica (ICOTRO), así como entre el

índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) e ICOTRO. Asimismo, los usos del suelo no presentaron una correlación significativa con el aumento o disminución en el valor de los índices (Chavarro & Gelvez, 2016).

2.1.2. Nacional

- Quispe (2021), en su investigación titulada “ACTIVIDADES ANTRÓPICAS Y CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO CHUMBAO, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, DEPARTAMENTO DE APURÍMAC, 2019” el objetivo es evaluar el efecto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua en el río Chumbao-Andahuaylas, por medio de los Índices de Contaminación (ICOs), para la metodología fueron considerados 05 puntos de muestreo cada 4 km aproximadamente, para determinar los ICOs se utilizó ecuaciones contenidas asentadas en parámetros fisicoquímicos y microbiológico, desglosadas en Índice de contaminación por elemento orgánica (ICOMO), Índice de contaminación para temperatura (ICOTEM) e índice de contaminación para pH (ICOpH) cuya calificación de contaminación estuvo en el rango de “Muy alto” a “Ninguno”. La investigación concluye según los resultados aguas abajo en el río Chumbao que el ICOMO oscilan entre “Bajo” a “Muy alto”, el ICOTEM entre “Ninguno” a “Bajo”, y el ICOpH como “Ninguno”. Asimismo, concluye que actividades antrópicas influyen sobre la calidad del agua, dichas actividades antrópicas identificadas fueron: doméstica, industrial, agrícola, pecuaria y acuícola y se observó que el río Chumbao mostró contaminación por materia orgánica y alteración en sus características de pH a medida que discurre el río aguas abajo; sin embargo, no se evidenció alteración de temperatura de acuerdo a los ICOs (Quispe, 2021).
- López Blanco, Luis A. y Cruz Zevallos, Fabiola A. (2019), según la investigación “CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA DE AGUAS SUPERFICIALES, POZOS ARTESIANOS Y POZOS RUSTICOS DEL CENTRO POBLADO DE ZUNGAROCCHA (IQUITOS-PERÚ)” el objetivo es valorar la calidad físico – química y bacteriológica de aguas superficiales, de pozos artesanos y de pozos rústicos del Centro Poblado de Zúngarococha. En la metodología, para la evaluación físico – químico se empleó multiparámetro Hanna y el medidor portátil de metales pesados Metalyser, con respecto a la bacteriológica se usó la técnica de fermentación de tubos múltiples. Como conclusiones se tuvo que no se evidencio metales tóxicos y que el 100 % de los análisis bacteriológicos de las aguas superficiales del lago de Zúngarococha y pozos rústicos evidenciaron

elevada contaminación fecal, de igual modo con el 5 % de los pozos artesianos. Por lo tanto, el 95% de las aguas de los pozos artesianos fueron aptos para el consumo humano (López C. S., 2012).

- Recavarren Rios, Edgar (2017), según la investigación “ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICOs) DEL AGUA RESIDUAL GENERADA EN FABRICACION DE VINOS Y PISCOS DE LA BODEGA RECAVARREN EIRL EN LA CIUDAD DE TINGO MARIA” el objetivo evaluar y cuantificar la contaminación presente en las aguas residuales procedentes de la producción de vinos y piscos. La metodología aplicada se basó en una serie de fórmulas que permitieron relacionar parámetros físico-químicos y biológicos; se aplicó el protocolo de determinación del índice de contaminación de agua (ICOs) que son los índices de Colombia propuesta por Ramírez (1997). La investigación concluye que el DBO₅, los sólidos totales, el fósforo total y el pH estuvieron fuera de los límites establecidos para aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, y a pesar que los otros criterios como conductividad, dureza, alcalinidad, coliformes totales y oxígeno disuelto estuvieron dentro de los estándares contemplados; se determinó que el ICOMI tiene grado de contaminación alto, el ICOMO grado de contaminación medio, el ICOSUS grado de contaminación muy alto, el ICOTRO grado de contaminación que produce hipereutrofia y el ICOPH grado de contaminación medio. En cuanto al agua se determinó que para cada litro de vino se usa 2,52 L de agua. Se planteó un plan de manejo ambiental para la producción de vinos y piscos (Recavarren, 2017).

2.1.3. Local

- Alcarraz Alfaro, Tarcila; Barboza Palomino, Gloria Inés; Córdova Miranda, Alcira (2013), según la investigación “CARACTERÍSTICAS FÍSICO Y QUÍMICOS Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO YUCAES, AYACUCHO – 2013” el objetivo es determinar las características fisicoquímicas y el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Yucaes. Para la metodología se establecieron 4 estaciones de muestreo en el tramo de la comunidad de Muyurina, teniendo en cuenta la contaminación por las actividades antropogénicas y la confluencia con el río Muyurina aparentemente más contaminado, los meses de muestreo fueron mayo, agosto, octubre y diciembre del año 2013, que comprenden temporadas de sequía y lluvia. Los parámetros fueron: pH, temperatura, conductividad y turbidez; se midieron con equipos portátiles en los lugares de muestreo. La alcalinidad,

acidez, cloruros y dureza se determinaron mediante análisis químico por volumetría, de igual manera: Sólidos totales y sólidos paralizados por método gravimétrico. Nitratos, nitritos, fosfatos, Demanda Química de Oxígeno (DQO) por espectrofotometría UV-Visible y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) por el método Winkler. Con 8 parámetros de estos se calculó el Índice de Calidad del Agua (ICA) para cada estación y meses de muestreo. La investigación concluye que las características fisicoquímicas determinadas están dentro de los estándares de calidad de aguas para riego de vegetales y bebida de animales. Asimismo, el Índice de Calidad del Agua (ICA) para el río Yucaes resultó de buena calidad antes de la confluencia (Alcarraz, 2011).

- Aronés Medina, Edgar G.; Veliz Flores, Raúl R.; Palomino Malpartida, Ybar G. (2018), según la investigación “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO HUATATAS, APLICANDO EL ICA, REGIÓN AYACUCHO” tiene como objetivo determinar el valor del Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Huatatas de la región Ayacucho. Respecto a la metodología, se ha evaluado los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA) del río Huatatas. Se determinaron 04 estaciones de muestreo a lo largo del río, el primero se situó en la parte alta del río y el último en la parte baja antes de la unión con el río Alameda, el tipo de investigación es básica, el nivel de investigación es descriptiva, el diseño de investigación es no experimental. Las muestras se obtuvieron durante el año 2017 de cada una de las estaciones de muestreo, en cuatro oportunidades, que comprenden temporadas de estiaje y lluvia. La investigación concluye que la calidad del agua de la microcuenca del río Huatatas de la región Ayacucho aplicando el método del Índice de Calidad del Agua (ICA) durante el año 2017 se clasifica como buena en la parte alta (RHuat-01) en época de estiaje y de lluvias. En las otras estaciones varía de regular a buena, mostrando un ligero deterioro a medida que avanza su recorrido hasta la estación RHuat-03 (Aronés, Veliz, & Palomino, 2017).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El agua

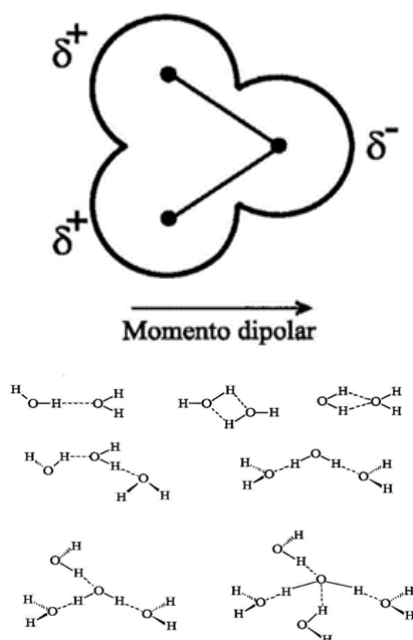
El agua es uno de los recursos naturales más importantes y escasos que tienen las personas alrededor del mundo, nuestro país no es una excepción muchas de nuestras poblaciones se ven obligados a beber agua de fuentes cuya calidad deja mucho que desear y produce un sin fin de enfermedades a niños y adultos (MINSA, 2012). De

manera excepcional la importancia del agua desde el punto de vista químico reside en que; la totalidad de procesos químicos ocurren en la naturaleza el agua es un líquido constituido por dos sustancias gaseosas: oxígeno e hidrógeno su fórmula química está representado por H_2O (Paredes, 2011).

El agua líquida parece estar formada por asociaciones de moléculas de 2, 3 y hasta 12 unidades de " H_2O ", estando "dotada de una estructura tridimensional fluctuante, mientras el hielo es una mezcla de cuatro isómeros distintos, compuestos a su vez de diferente número de moléculas y/o con diferente estructura" (Khan Academy, 2015).

Figura 2

Asociaciones de moléculas de agua



Fuente: (Khan Academy, 2015)

El agua presenta propiedades físicas, químicas y biológicas en la actualidad con el afán de elevar el bienestar de la colectividad se programan y planifican una serie de medidas tendientes a resolver los numerosos problemas de la salud ya que el agua se comporta como un medio de difusión de enfermedades; por tal razón debe vigilarse permanentemente la calidad sanitaria de la misma para evitar epidemias (Alvarez & Kuri-Morales, 2018). A su vez el agua en su estado natural es incoloro, insípida e inodora es un buen conductor y disolvente, adquiere la forma del recipiente que lo contenga, el agua comienza a formar un color característico y olor debido a materia orgánica y

productos químicos (Laura, 2009).

2.2.2. Demanda del recurso Hídrico

De acuerdo a la ley de Recursos Hídricos (LRH), el uso del recurso Hídrico se entiende como las distintas clases de empleo del agua según su destino, y la demanda es el volumen de agua requerido para uno o varios usos.

Figura 3

Uso y demanda del recurso hídrico



Fuente: (Aquino, 2017)

Según la LRH se reconocen tres usos:

- a. Uso primario.
- b. Uso poblacional.
- c. Uso productivo.

Para el uso primario no se requiere de alguna autorización dado que es el empleo del recurso hídrico directamente de la fuente, sin emplear infraestructura hidráulica. La siguiente figura muestra un ejemplo de la captación del mismo.

Figura 4

Uso primario del recurso hídrico



Fuente: <https://celendinlibre.files.wordpress.com/2012/02/03.jpg>.

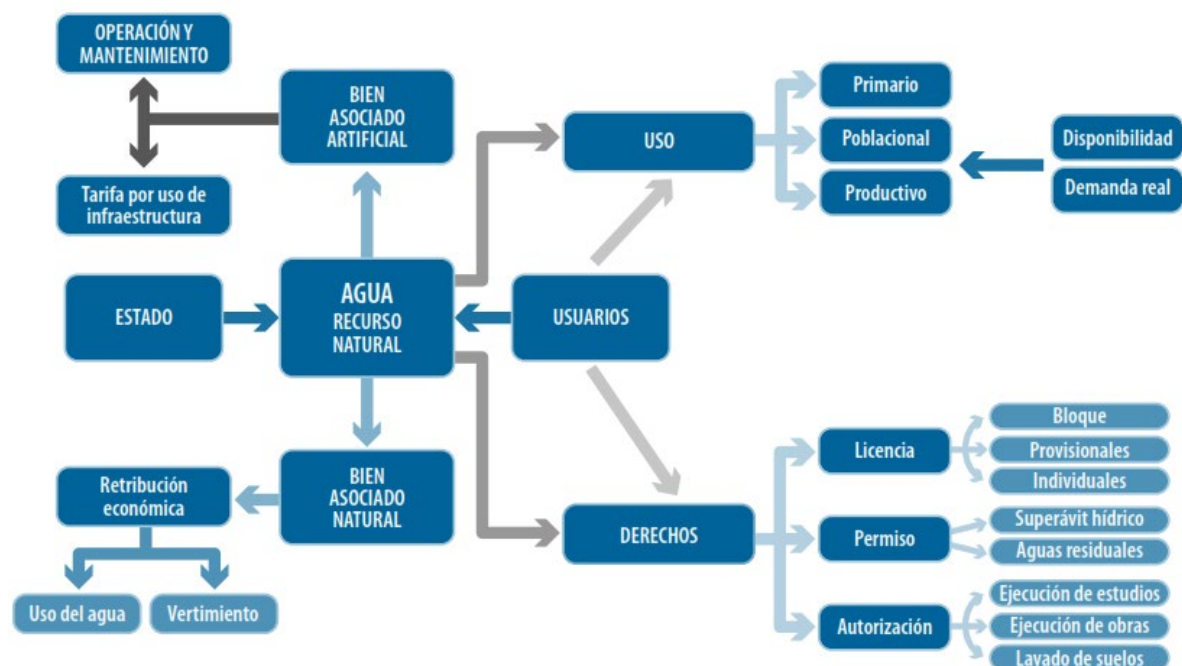
De otro lado, el uso productivo del recurso hídrico está asociado a las actividades económicas que requieren algún tipo de infraestructura hidráulica para su captación y su demanda volumétrica, que en general son significativas respecto al uso primario. En este caso, es necesario contar con un derecho de uso. A continuación, se precisa los siguientes tipos de uso:

- a. Agrario: pecuario y agrícola
- b. Acuícola y pesquero
- c. Energético
- d. Industrial
- e. Medicinal
- f. Minero
- g. Recreativo
- h. Turístico
- i. De transporte

En la siguiente figura se esquematiza y el uso de los derechos de uso de agua en el Perú, según la legislación vigente, dado que es importante conocer el proceso del uso del recurso hídrico.

Figura 4

Diagrama de los usos y derechos de uso del Agua



De acuerdo al Plan Nacional de Recurso Hídrico, la demanda total de agua estimada para todo el Perú es de 49 717,97 hm³/año, de los cuales 26 080,71 hm³/año (52 %) corresponden a usos consuntivos y 23 637,26 hm³/año (48 %) a usos no consuntivos, el cual, según el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, DS N° 001-2010-AG el uso de agua consuntivo se produce cuando "...el volumen de agua asignado se consume al desarrollar la actividad para la cual se otorgó". Cabe resaltar que la actividad productiva que mayor demanda de agua consuntiva es la agrícola con 23 165,79 hm³/año y de esta se consume en mayor volumen en la región hidrográfica del Pacífico, es decir en la costa (Aquino, 2017).

2.2.3. Contaminación del agua

La contaminación de recurso hídrico, es hoy en día una de las problemáticas ambientales más importantes para sociedad y la administración de cualquier ciudad o país en el mundo como las corporaciones. Dicha contaminación del agua se manifiesta en la actualidad como la alteración de las características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas (Aguayo, 2015).

La contaminación del agua se define como la presencia de sustancias u organismos

extraños en un cuerpo de agua en tal cantidad y con tales características que impiden su utilización para un propósito determinado. La contaminación puede ser natural o antropogénica (Arellano & Guzman, 2011).

A través de la Historia la calidad del agua ha sido un factor determinante del bienestar humano. Las enfermedades causadas por el agua contaminada han diezmado poblaciones enteras, y también el agua contaminada procedente de fuentes naturales utilizada en irrigaciones ha tenido graves consecuencias. Aunque hoy en día hay todavía epidemias ocasionales de enfermedades víricas y bacterianas, como es el caso del cólera, causadas por agentes infecciosos que porta el agua, en general este tipo de infecciones está muy controlado, principalmente sólo en países industrializados (Cabildo, y otros, 2013).

La siguiente tabla muestra con detalle siete (7) fuentes principales de contaminación antropogénica del agua en el Perú relacionadas con las actividades productivas.

Tabla 1

Fuentes antropogénicas de contaminación de los recursos hídricos en el Perú

Actividades contaminantes	Descripción
Municipalidades	Más de 800 municipalidades vierten más 1,2 MMC de aguas residuales crudas a los cuerpos de agua.
Industria	Más de 100 000 unidades industriales.
Minería	Más de 250 unidades mineras que operan plantas de beneficio, que generan vertimientos de aguas, relaves y desmontes.
Hidrocarburos	Extracción de petróleo y gas. Generan aguas residuales y derrames de petróleo.
Pasivos ambientales	Más de 8000 pasivos ambientales mineros. Así como pasivos ambientales dejados por las petroleras.
Agricultura	Más de un millón de hectáreas bajo riego que generan aguas de retorno con residuos de agroquímicos, nutrientes y alta salinidad.
Pesquería	Más de 200 plantas industriales en la costa del Perú que generan aguas residuales con alto contenido de materia orgánica que se vierten al mar.

Fuente: (Holzner, 2012)

Figura 5

Fuentes de contaminación de los recursos hídricos



Fuente: (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016)

Se mencionan dos causas de contaminación del agua: naturales y antropogénicas. La primera causa está caracterizada por la naturaleza química de los suelos en zonas con presencia de volcanes donde existe la presencia de ciertos metales y metaloides. La segunda causa y fuente de contaminación antropogénica se representa por: el manejo no adecuado de agroquímicos, la minería informal, pasivos ambientales, vertimientos de aguas residuales no tratadas, mal manejo de residuos sólidos, entre otros (Aquino, 2017).

2.2.4. Escasez del agua

El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración y su aparente abundancia hace que sea el vertedero habitual de residuos: pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc. La degradación de las aguas viene desde tiempos antiguos, pero ha sido en este siglo cuando se ha extendido este problema a ríos y mares de todo el mundo (UNESCO, 2016).

La escasez del agua se debe fundamentalmente a:

- La explosión demográfica
- La contaminación

- Al incremento de las demandas

Es importante percatarse de que todas las aguas naturales contienen varios contaminantes que provienen de la erosión, la lixiviación y los procesos de la intemperie. Si hay contaminación adicional, se altera la naturaleza del agua receptora y deja de ser adecuada para sus diferentes usos. A esta contaminación natural se agrega aquella causada por aguas residuales de origen doméstico o industrial, que se pueden eliminar de varias maneras, por ejemplo, en el mar, en la tierra, en estratos subterráneos o, más usualmente, en aguas superficiales. Cualquier cuerpo de agua es capaz de asimilar cierta cantidad de contaminación sin efectos serios debido a los factores de dilución y autopurificación que están presentes. Si hay contaminación adicional, se altera la naturaleza del agua receptora y deja de ser adecuada para sus diferentes usos (UNESCO, 2016).

2.2.5. Calidad del agua

La calidad del agua se refiere a la composición del agua por sus características fisicoquímicas y microbiológicas, en la medida en que esta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas; como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo, sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada (Torres J. A., 2008). De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua, variarán dependiendo de si se trata de agua para: consumo humano, uso agrícola, uso industrial, recreación, mantenimiento de la calidad ambiental, etc. (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

En la clasificación de la calidad del agua y contaminación de un río se comparan los resultados medidos de la concentración de un parámetro fisicoquímico o microbiológico, con las pautas de calidad establecidas en algún instrumento legal, y definiciones determinadas de acuerdo con criterios de uso del agua (López C. S., 2012). Igualmente, se efectúan los índices de contaminación para conocer el rango de contaminación del agua superficial.

A continuación, se especifican los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos e igualmente los índices de contaminación empleados en la clasificación de la contaminación del agua superficial.

2.2.6. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Entre estos parámetros tenemos a la alcalinidad, coliformes totales, conductividad, DBO₅, dureza, fósforo, Oxígeno Disuelto, potencial de hidrógeno, Sólidos Suspendidos Totales y temperatura.

2.2.6.1. Alcalinidad

La alcalinidad de muchas aguas superficiales está sujeta a su contenido en carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, los valores determinados pueden incluir también la contribución de boratos, fosfatos, silicatos y otras bases. Es la medida de su capacidad de neutralizar ácidos. La alcalinidad de las aguas naturales se debe fundamentalmente a las sales de ácidos débiles, aunque las bases débiles o fuertes también pueden contribuir (Beita-Sandí & Barahona-Palomo, 2011).

2.2.6.2. Coliformes totales

Son bacterias gram negativas, no esporoformadoras, oxidasa negativa, con capacidad de crecimiento aeróbico y facultativamente anaeróbico en presencia de sales biliares, que a temperatura especificada de 35 °C +/- 2 °C causan fermentación de lactosa con producción de gas, poseen la enzima B-galactosidasa (Bush, 2020).

Su presencia en el agua denota contaminación microbiana reciente sin informar de su origen y una deficiente calidad del agua. Sin embargo, no son específicos de contaminación fecal, excepto el género *Escherichia* (COFO, 2011).

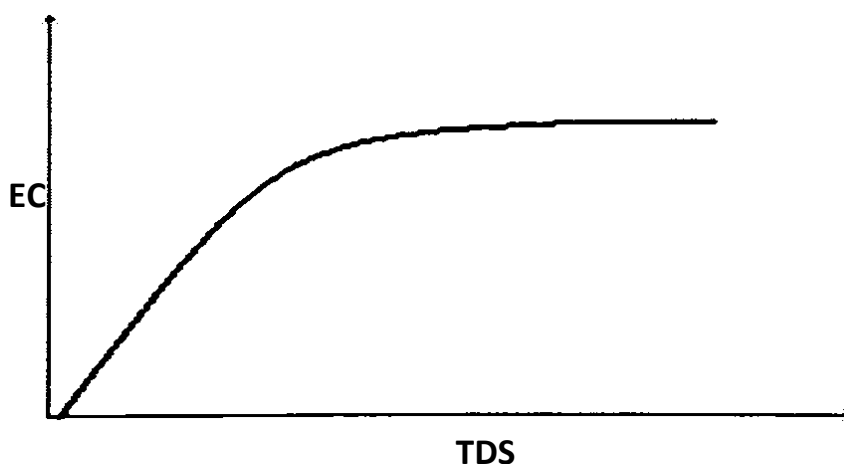
2.2.6.3. Conductividad

La conductividad hace referencia a la capacidad del agua de conducir una corriente eléctrica, esta capacidad está sujeta a la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición. Es sensible a las fluctuaciones de sólidos disueltos, principalmente de sales marinas (Baird, Eaton, & Rice, 2017).

En un determinado cuerpo de agua, se relaciona con los sólidos disueltos totales y con los iones mayoritarios, el agua pura tiene poca conductividad, por lo que la medida de la conductividad de un agua nos da un panorama de los sólidos disueltos en la misma (Infoagro, 2013).

Figura 6

Relación entre los Sólidos Disueltos Totales (TDS) y la conductividad Eléctrica (EC)



Fuente: (Monge, 2017)

La conductividad de la mayoría de las aguas dulces naturales se encuentra entre los 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a los 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$; aunque, depende del tipo de geología. En áreas con influencia marino costera las concentraciones pueden ir desde los 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta los 2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$; mientras que en lagos y reservorios las conductividades son generalmente más bajas (GLOBE, 2012).

Cuando la concentración de las sales llega a un cierto nivel, la conductividad eléctrica ya no está directamente relacionado con la concentración de las sales en el agua (SMART, 2012).

2.2.6.4. Demanda Bioquímica de Oxígeno

La materia orgánica no sólo son carbohidratos, por ende, una forma más práctica de analizar el consumo de oxígeno en la degradación de la materia orgánica en general es medir los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) (Baird, Eaton, & Rice, 2017).

La DBO es la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos para la degradación biológica en un medio aeróbico de la materia orgánica, a mayor cantidad de materia orgánica mayor contenido de microorganismos en una muestra.

Las bacterias heterótrofas, son las que oxidan la materia orgánica presentes en el agua a mayor cantidad de materia orgánica mayor consumo de oxígeno disuelto lo que significa aumento de las bacterias, lo que puede producir riesgos (Metcalf & Eddy, Inc.,

2013).

Tabla 2

Estado del agua según del DBO₅

Estado	DBO ₅ mg/L
Agua pura	0-20
Agua levemente contaminada	20-100
Agua medianamente contaminada	100-500
Agua muy contaminada	500-3000
Agua extremadamente contaminada	3000-15000

Fuente: (Baird, Eaton, & Rice, 2017)

2.2.6.5. Dureza

La dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato cálcico, en miligramos por litro. El agua dura se origina cuando el magnesio y el calcio se disuelven en el agua, igualmente a la presencia de hierro; su grado de dureza aumenta, cuanto más calcio y magnesio hay disuelto (Baird, Eaton, & Rice, 2017).

Magnesio y calcio son iones positivamente cargados. Debido a su presencia, otros iones cargados positivamente se disolverán menos fácil en el agua dura que en el agua que no contiene calcio y magnesio (Metcalf & Eddy, Inc., 2013)

Tabla 3

Interpretación de la dureza del agua

Dureza (mg CaCO ₃ /L)	Interpretación
0-75	Agua suave
75-150	Agua poco dura
150-300	Agua dura
>300	Agua muy dura

Fuente: (Julián-Soto, 2010)

2.2.6.6. Fósforo

Es un macronutriente fundamental; es acumulado por amplia variedad de seres vivos. Este parámetro es estratégico en la construcción de los ácidos nucleicos y en el almacenamiento y uso energético en las células. En aguas no contaminadas, es

fácilmente utilizado por las plantas y convertido a las estructuras celulares por acción fotosintética (SACSA, 2016).

Es el principal nutrimento para considerarse en el control del grado de eutroficación de un ecosistema acuático, puesto que influye directamente en el crecimiento de las algas y por tanto puede interferir en la actividad productiva primaria del agua. Su regulación de los niveles permisibles en aguas naturales es difícil ya que no es un elemento tóxico y es también un nutrimento requerido y limitante en las aguas naturales, pues en bajas concentraciones estimula la productividad acuática (Montalvo, García-Ramil, Almeida, Betanzos, & García, 2014).

2.2.6.7. Oxígeno Disuelto

Este es uno de los parámetros más importantes para la vida acuática en los ríos, puede ser agregado o removido al agua por varios procesos fisicoquímicos o reacciones biológicas; sus concentraciones en el agua dependen de la presión parcial del oxígeno en la atmosfera y de la temperatura del agua (Grupo de Estudio Técnico Ambiental [GESTA AGUA], 2017).

Si un cuerpo de agua tiene un nivel de Oxígeno Disuelto abajo de 3 mg O₂/L es considerado hipóxico. Las bajas concentraciones de oxígeno o depleción del oxígeno por lo general resultan de la combinación de una alta productividad biológica y un intercambio de agua reducida (Muñoz, y otros, 2015).

2.2.6.8. Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es controlado por el balance entre el dióxido de carbono, los iones bicarbonato y carbonato, así como los ácidos húmicos y fúlvicos. La mayor parte de las aguas naturales tienen un pH en el ámbito de 6,5 a 8,0 y es controlado principalmente por el sistema carbonato – bicarbonato (Sierra, 2011).

A pesar de lo anterior, existen aguas húmicas ácidas, cuyo rango va de 5,0 a 6,0 y es controlado por la concentración natural de materia orgánica en lugar del sistema de amortiguamiento de carbonato-bicarbonato. La mayoría de las aguas tienen la capacidad de resistir los cambios de pH, en los ríos esta capacidad se debe a la presencia de iones bicarbonato (HCO₃⁻), aportados al sistema por la disolución de rocas y suelos (Chavéz, 2013).

Los cambios de pH en el recurso hídrico deben ser medidos puesto que cuando se presentan concentraciones bajas de pH, pueden ocurrir efectos adversos sobre peces e insectos acuáticos que perturban sus funciones fisiológicas (Monte, 2016).

2.2.6.9. Sólidos Suspendidos Totales

El material suspendido en las aguas se compone por arcilla, arena, plancton y otros organismos microscópicos; su entrada en los cuerpos de agua es por diversos factores de la erosión del terreno debido a las prácticas agrícolas y del arrastre de material durante la escorrentía de las aguas de lluvia (Romero, 2009).

Los sólidos pueden adherir en su superficie nutrientes y distintos tipos de contaminantes como residuos de plaguicidas; igualmente, pueden afectar la entrada de la luz en los cuerpos de agua y el aumento de temperatura debido a la absorción de la radiación; esta variable es indispensable para estimar la dinámica de los ríos (Infoagro, 2013).

2.2.6.10. Temperatura

La temperatura es un parámetro físico descriptivo de un sistema que caracteriza la transferencia de energía térmica, entre ese sistema y otros. Afecta tanto los procesos físicos (volatilización, solubilidad de sales y gases, estratificación de estanques), como los procesos químicos (pH, equilibrio de ionización, velocidad de reacción) (Coluccio, 2021).

Es un parámetro muy importante sobre el desarrollo de la vida acuática, así como la aptitud del agua para ciertos usos útiles. La temperatura es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico como el pH, déficit de oxígeno y conductividad eléctrica, de igual manera la importancia de la temperatura se basa en el oxígeno que es menos soluble en agua caliente que en agua fría (Sierra, 2011).

Los procesos fisiológicos de los organismos se ven influenciados por la temperatura del agua, como la respiración microbiana, que es responsable, en gran parte, de la autpurificación que ocurre en los cuerpos de agua (Infoagro, 2013).

2.2.7. Índices de contaminación

Los Índices de Contaminación de Agua (ICOs) se desarrollaron por primera vez por Ramírez, Restrepo y Viña (1997) en Colombia, quienes realizaron un Análisis de Componentes Principales a los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de análisis limnológicos evaluados durante los monitoreos hidrológicos para la industria petrolera, y definieron a los ICOs como criterios para evaluar el grado de contaminación en el agua a través de un número en un rango de 0 a 1, es decir un nivel muy bajo y un nivel muy alto de contaminación respectivamente (Restrepo, 2015). Para calificar la calidad del agua de acuerdo a los resultados hallados y evaluados de los Índices de contaminación se establece un rango de 0 a 1, así lo señala la siguiente tabla.

Tabla 4

Calificación de la calidad del agua según los valores que tomen los índices de contaminación

Categorías de valores que puede tomar el índice	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,8-1,0	Muy alto	Rojo
0,6-0,8	Alto	Naranja
0,4-0,6	Medio	Amarillo
0,2-0,4	Bajo	Verde
0,0-0,2	Ninguno	Azul

Fuente: (Cañas, 2010)

Los índices de contaminación o mejor conocidos como ICOs, consisten en una expresión matemática simple, en la que se realiza una combinación de parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos, que sirven como medida de la calidad del agua para sus diversos usos (Montero & Ramírez, 2018). El valor numérico obtenido oscila entre 0 a 1, estos rangos se clasifican asignando una descripción cualitativa del grado de contaminación del agua, con los cuales se puede valorar el recurso (Cumaca & Fernández, 2007). A continuación, presentamos los parámetros medidos por los índices de contaminación y el objetivo que le corresponde.

Tabla 5*Parámetros medidos por los índices de contaminación*

ICOs	Objetivo	Parámetros
ICOMI	Mineralización	Conductividad, dureza y alcalinidad.
ICOMO	Contaminación	DBO ₅ , % saturación de oxígeno y Coliformes Totales.
ICOpH	Relativo al pH	pH
ICOTRO	Trofia del sistema	Fósforo total
ICOSUS	Relativo a sólidos suspendidos	Sólidos suspendidos

Fuente: (Cañas, 2010)

Los índices de contaminación (ICOs) se han propuesto y empleado en la última década, estos tienen como propósito simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de cualquier fuente de agua (Cañas, 2010).

2.2.7.1. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Se expresa en “diversas variables, como lo son: conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonatos” y bicarbonatos (Cañas, 2010).

EL ICOMI se determina en un rango de 0 a 1 en el cual los valores cercanos a cero indican baja contaminación por mineralización, mientras que los valores cercanos a uno indican una alta contaminación por mineralización (Montero & Ramírez, 2018). En consecuencia, se muestran las ecuaciones que la representa.

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

Donde:

$$a. \quad I_{Conductividad} = -3,26 + 1,34 \times \log_{10} \text{Conductividad}(\mu S/cm)$$

Condiciones:

- Conductividades > a 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$, entonces $I_{\text{Conductividad}} = 1$

b. $I_{\text{Dureza}} = -9,09 + 4,40 \times \log_{10} \text{Dureza} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$

Condiciones:

- Durezas > a 110 mg/L , entonces $I_{\text{Dureza}} = 1$
- Durezas < a 30 mg/L , entonces $I_{\text{Dureza}} = 0$

c. $I_{\text{Alcalinidad}} = -0,25 + 0,005 \times \text{Alcalinidad} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$

Condiciones:

- Alcalinidades > a 250 mg/L , entonces $I_{\text{Alcalinidad}} = 1$
- Alcalinidades < a 50 mg/L , entonces $I_{\text{Alcalinidad}} = 0$

2.2.7.2. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Se halla a través de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica (Cañas, 2010).

Se define entre un rango de 0 a 1 donde el aumento desde el valor más bajo se relaciona con el aumento de contaminación en el cuerpo del agua. A continuación, presentamos la ecuación que la define.

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{\text{DBO}_5} + I_{\text{Coliformes totales}} + I_{\text{Oxígeno \%}}) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

a. $I_{\text{DBO}_5} = -0,005 + 0,70 \times \log_{10} \text{DBO} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)$

Condiciones:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno > a 30 mg/L , entonces $I_{\text{DBO}_5} = 1$
- Demanda Bioquímica de Oxígeno < a 2 mg/L , entonces $I_{\text{DBO}_5} = 0$

b. $I_{\text{Coliformes totales}} = -1,44 + 0,56 \times \log_{10} \text{Col. tot. (NMP/100 mL)}$

Condiciones:

- Coliformes totales > a 20 000 NMP/100 mL, entonces $I_{\text{Col. tot.}} = 1$
- Coliformes totales < a 500 NMP/100 mL, entonces $I_{\text{Col. tot.}} = 0$

c. $I_{\text{Oxígeno \%}} = 1 - 0,01 \times \text{oxígeno \%}$

Condiciones:

- Oxígeno % > a 100 %, entonces $I_{\text{Oxígeno \%}} = 0$

2.2.7.3. Índice de contaminación por pH (ICOpH)

Se obtiene según la siguiente expresión:

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

Condiciones:

- pH < a 7, entonces el pH = 14 - pH_{registrado}
- pH > a 7, entonces se toma el valor registrado y se calcula el índice ICOpH.

2.2.7.4. Índice de contaminación por trofia (ICOTRO)

Se calcula mediante la concentración del fosforo total en mg/L, este parámetro incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico (Cañas, 2010). En base a lo anterior tenemos:

- Oligotrofia: < 0,01
- Mesotrofia: 0,01 - 0,02
- Eutrofia: 0,02 - 1,00
- Hipereutrofia: > 1,00

2.2.7.5. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

Este índice se determina mediante un único parámetro como su nombre lo indica la cantidad de sólidos suspendidos disueltos, los cuales pueden ser de origen doméstico e industrial. Su rango va de 0 a 1, si su resultado es 0 sus concentraciones se consideran nulas lo cual no generan problema alguno a la salud o a las actividades cotidianas en las personas en contacto con la zona de estudio (Cañas, 2010). Se determina mediante las siguientes condiciones:

- Si $SST < 340$ mg/L, entonces $ICOSUS = -0,02 + 0,003 \times SST$
- Si $SST > 340$ mg/L, entonces $ICOSUS = 1$
- Si $SST < 10$ mg/L, entonces $ICOSUS = 0$

2.3. Marco conceptual

- **Agua natural:** Recurso acuáticos que se encuentran en la naturaleza (González, 2012).
- **Agua natural superficial:** Es la que se encuentra en la superficie del terreno formando los ríos, lagos, manantiales (González, 2012).
- **Agua natural subterránea:** Es la que se encuentra bajo la superficie del terreno pudiendo ser su afloramiento natural o extracción artificial (González, 2012).
- **Alcalinidad total:** Capacidad del agua para neutralizar ácidos y representa la suma de bases que pueden ser tituladas (Microlab, 2016).
- **Calidad de agua:** La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana. Sin la acción humana, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua (Departamento de Asuntos Sociales y Económicos de la Naciones Unidas [ONU-DAES], 2014).
- **Características físico-químicas:** Son aquellas que se originan por la presencia de bacterias nocivas a la salud humana (González, 2012).
- **Contaminación:** Alteración de las características físicas, químicas o biológicas del agua, resultante de la incorporación deliberada o accidental en la misma de

productos o residuos que afectan los usos del agua (González, 2012).

- **Coliformes:** Grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos (Fernández-Santisteban, 2017).
- **Coliformes fecales:** Sub grupo de coliformes que habitan en el intestino del hombre y animales de sangre caliente y que fermentan la lactosa con formación de gas a las 24 horas a 44,5 °C (Fernández-Santisteban, 2017).
- **Coliformes termotolerantes:** Coliformes que son capaces de fermentar lactosa a 44-45 °C. En muestras de agua, predominan los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*. *Escherichia coli* se puede distinguir de los demás coliformes termotolerantes por su capacidad para producir indol a partir de triptófano o por la producción de la enzima B- glucuronidasa (Gianoli, Hung, & Shiva, 2019).
- **Conductividad eléctrica:** Parámetro que mide la concentración de minerales disueltos en una muestra de agua, siendo más conductora de la electricidad mientras tenga más minerales disueltos (Severiche, Carlos A.; Barreto, Arnaldo J.; Acevedo, Rosa L., 2013).
- **Contaminación:** La contaminación es la adición de cualquier sustancia al ambiente, en cantidades tales, que causen efectos adversos a los seres humanos, animales, vegetales o materiales que se encuentren dispuestos a dosis (concentración por tiempo) que sobrepasen los niveles que se encuentran regularmente en la naturaleza (Odum & Barrett, 2006).
- **Contaminantes:** Pueden ser biológicos (virus, bacterias, hongos, artrópodos, etc.), químicos (sustancias químicas sintéticas clasificables según toxicidad, origen, estructura y función), y físicos (ruido, temperatura, radiaciones, humedad (Huertas, 2015).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** El parámetro más ampliamente utilizado para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de agua es la demanda bioquímica de oxígeno. La DBO se mide determinando la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos (bacterias principalmente) para degradar, oxidar, estabilizar, etc. la materia orgánica (Fundación Nacional de Salud [FUNASA], 2013).
- **Oxígeno Disuelto (OD):** Después de la temperatura, el oxígeno es uno de los factores más importantes que debe ser medido en el agua. Solo tiene valor si se mide con la temperatura, para poder así establecer el porcentaje de saturación (Roldán & Ramirez, 2008).

- **Parámetros biológicos:** Las aguas crudas pueden tener una gran variedad de microorganismos. Estos en el agua pueden ser patógenos o no patógenos. Por patógenos se entienden aquellos organismos que causan enfermedad en los seres vivos mientras que por no patógenos se entiende lo contrario (Sierra, 2011).
- **pH:** El pH es un indicador de la acidez o basicidad de una sustancia y se define como la concentración del ion hidrógeno en el agua. El pH sirve como indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua (Mackenzie & Cornwell, 2012).
- **Ríos:** Son corrientes de agua continua que desembocan en otra corriente de agua o en el mar. Se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente con velocidades promedio relativamente altas que varían entre 0,1 y 1,0 m/s, permanentemente mezclados y en la mayoría de ellos, la calidad del agua es importante en el sentido del flujo (Sierra, 2011).
- **Sólidos Suspendidos Totales (SST):** También conocido como residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105 °C hasta peso constante (Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012)
- **Temperatura:** La temperatura es una medida de calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Esta medida no depende del número de partículas en un objeto ni de su tamaño (Mackenzie & Cornwell, 2012).
- **Vertimiento:** Es cualquier descarga final al recurso hídrico, de un elemento, sustancia o compuesto que esté contenido en un líquido residual de cualquier origen, ya sea agrícola, minero, industrial, de servicios o aguas residuales (Orarpo, 2020).

2.4. Marco legal

La gestión de los recursos hídricos en el Perú, presentemente cuenta con una arquitectura nomotético hacia su uso seguido, muestra de ello es la reciente aprobación de la Ley N° 30588, Ley que aprueba la reforma de la Constitución peruana reconociendo el derecho al acceso al agua potable como un derecho constitucional. Pese a ello, es un reto mitigar la contaminación de los cuerpos de agua como son los ríos dentro de la gestión integrada del recurso hídrico. De integrarse tendremos avanzado significativamente hacia un encargo eficientemente recurso hídrico en el país,

bajo la sostenibilidad de la calidad del agua. La tabla siguiente muestra un breve resumen de normas referentes al recurso hídrico en el Perú.

Tabla 6
Resumen del marco legal

Norma	Descripción	Aplicación
Constitución Política del Perú	Ley N° 30588 Ley de Reforma Constitucional que reconoce el derecho al agua como derecho constitucional que incorpora el artículo 7°-A en la Constitución Política del Perú.	El Estado reconoce el derecho de toda persona a acceder de forma progresiva y universal al agua potable. El Estado garantiza este derecho priorizando el consumo humano sobre otros usos.
ANA	Resolución Jefatural N° 058-2017-ANA	Regula forma y plazos para el pago de retribución económica por parte de los usuarios por el uso de agua y por el vertimiento de aguas residuales. Usuarios con autorización de vertimiento de aguas residuales, el pago se efectúa en forma anual y por adelantado.
	Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA	Aprueban la clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino-costeros. Cuerpos de agua superficiales y marino costeros.
	Resolución Jefatural N° 274-2010-ANA	Dictan medidas que permitan la implementación de Programa de Adecuación de Vertimiento y Reúso de Agua Residual (PAVER).
	Ley N° 29338	Ley de Recursos Hídricos. Vertimiento y Calidad. Aprovechamiento sostenible.
MINAGRI	Decreto Supremo N° 001-2010-AG	Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos y sus modificaciones. Vertimiento y Calidad. Aprovechamiento sostenible.
	Decreto Supremo N° 007-2010-AG	Protección de la Calidad de los Recursos Hídricos. Declaran de interés nacional la protección de la calidad del agua en las fuentes naturales y sus bienes asociados, con el objeto de prevenir el peligro de daño grave o irreversible que amenace a dichas fuentes y la salud de las actuales y futuras generaciones.
MINAM	Ley N° 28611	Ley General del Ambiente.
	Ley N° 26821	Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Se consideran recursos naturales a todo componente de la naturaleza, susceptible de ser aprovechado por

Norma	Descripción	Aplicación
		el ser humano para la satisfacción de sus necesidades y que tenga un valor actual o potencial en el mercado, tales como: las aguas: superficiales y subterráneas.
Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM	Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias.	Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.
Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM	Aprueba los LMP para efluente de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales.	
Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM	Definición de los límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de las PTAR domésticas o municipales.	Calidad de las aguas residuales tratadas
Decreto Supremo N° 019-2017-VIVIENDA	Reglamento del Decreto Legislativo N° 1280.	Agua residual: Desecho líquido proveniente de las descargas por el uso del agua en actividades domésticas o no domésticas. Agua residual tratada: Agua residual que ha sido sometida a diferentes procesos para la eliminación de componentes físicos, químicos y microbiológicos para su disposición final o reúso.
MVCS		
Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA	Valores Máximos Admisibles.	VMA de las descargas de agua no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, a fin de evitar el deterioro de instalaciones de infraestructura sanitaria.

Fuente: (Aquino, 2017)

Para la revisión de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua, el MINAM establecerá los procesos, metodologías, lineamientos y planes necesarios, según

corresponda, considerando las evidencias técnicas, los resultados de vigilancia, control y monitoreo de la calidad ambiental del agua, entre otros. Dicha acción se realizará de manera permanente y cuando el caso lo amerite (SPDA, 2017). A continuación, se muestra información de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua D.S. N° 004 - 2017-MINAM según lo requerido para los Índices de Contaminación (ICOs) del río Muyurina.

Tabla 7

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 (DBO ₅)	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): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural). (b): Después de filtración simple. (c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido. Δ 3: significa variación

de 3 grados Celsius respecto promedio mensual multianual del área evaluada. El símbolo ** dentro de la tabla significa que parámetro no aplica para esta Subcategoría. Los valores de los parámetros se encuentran concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Fuente: *Decreto Supremo N° 004 - 2017-MINAN*

III. DISEÑO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de la investigación se establecieron 4 estaciones de muestreo en el tramo de las uniones de los ríos Alameda y Huatatas que forman el río Muyurina, y se realizaron 6 muestreos, estos son: 3 muestreos en época de estiaje y 3 muestreos en época de lluvia para la determinación del Índice de Contaminación de Agua del río Muyurina, con el fin de conocer las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y su variación en cada una de las temporadas.

En torno el diagnóstico estadístico aplicado a los datos, se utilizó el método de estadística descriptiva empleando el software IBM SPSS Statistics y diagramas de cajas y bigotes para reconocer los datos atípicos; el software Excel se empleó para el análisis de los parámetros espacio temporal en temporada de estiaje y de lluvias en el año 2018 – 2019. El flujograma procedimental que describe las fases y actividades que se llevaron a cabo para poder cumplir con los objetivos establecidos se ilustran en el anexo 2.

El área de estudio se encuentra situada en los distritos de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Tambillo y Jesús Nazareno, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho. Los ensayos de laboratorio del trabajo de investigación se efectuaron en los ambientes de los laboratorios de Química Analítica y Análisis Instrumental; laboratorios que corresponden a la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia (FIQM) de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. De esta manera, también se realizaron los análisis en el laboratorio de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR Totorá).

3.1. Tipo y nivel de investigación

La presente investigación según el propósito, es de tipo básico, que se caracteriza porque se origina en un marco teórico y permanece en él. El objetivo es incrementar los

conocimientos científicos, pero sin contrastarlos con ningún aspecto práctico (Rodríguez, 2020).

El nivel de estudio es descriptiva, según Muntané (2010) está basada en: “El análisis pormenorizado del fenómeno a estudiar, lográndose caracterizar la patología en concreto, lo que puede servir de base para investigaciones que requieran un mayor nivel de profundidad” (Muntané, 2010).

3.2. Diseño de investigación

Entendiendo que el diseño de investigación se define como los métodos y técnicas elegidos por un investigador para combinarlos de una manera razonablemente lógica para que el problema de la investigación sea manejado de manera eficiente (QuestionPro, 2020); el diseño de la presente investigación es no experimental ya que es una investigación que se realizó sin la manipulación deliberada de variables y se basó fundamentalmente en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos (Dzul, 2013). Basándonos en el diseño de investigación no experimental, la investigación es del tipo longitudinal, al respecto se menciona que en el diseño no experimental longitudinal se llevan a cabo muestreos a lo largo del tiempo, considerando variables determinadas y sus relaciones entre sí, para determinar evoluciones, tendencias, vínculos, etc. (Etecé, 2021).

Variable de interés

- Índices de Contaminación del Agua (ICOs)

Dimensiones

- Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)
- Índice de contaminación orgánica (ICOMO)
- Índice de contaminación por pH (ICOpH)
- Índice de contaminación de sólidos suspendidos (ICOSUS)
- Índice de contaminación por trofia (ICOTRO)

3.3. Operacionalización de la variable

En la tabla siguiente se detallan las variables que corresponden a la presente investigación, igualmente las dimensiones e indicadores.

Tabla 8**Operacionalización de la variable**

Variable de estudio	Dimensiones	Concepto	Indicadores
Índice de Contaminación del agua (ICOs)	Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI)	Índice de contaminación por mineralización, que integra conductividad, dureza y alcalinidad del cuerpo de agua del río Muyurina.	IConductividad IDureza IAlcalinidad
	Índice de Contaminación Orgánica (ICOMO)	Índice de contaminación por materia orgánica. Se obtiene a través de la demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales y por porcentaje de saturación de oxígeno, se define entre un rango de 0-1 donde el aumento desde el valor más bajo se relaciona con el aumento de contaminación en el cuerpo del agua del río Muyurina.	IDBO5 IColif. tot. IOxígeno %
	Índice de Contaminación por pH (ICOpH)	Índice de contaminación por pH.	Según el pH de las muestras de agua.
	Índice de Contaminación de Sólidos Suspendedos (ICOSUS)	Destaca los niveles de sólidos de alta densidad suspendidos en el cuerpo de agua del río Muyurina.	Nivel de Sólidos Suspendedos Totales.
	Índice de Contaminación por Trofia (ICOTRO)	Este índice se calcula partiendo de la concentración de fósforo total medido en mg/L por análisis químico, a mayor concentración se presenta eutrofización en el cuerpo de agua del río Muyurina.	Concentración de fósforo total.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A continuación, se describe las técnicas e instrumentos de recolección de datos que fueron necesarios para el presente trabajo de investigación.

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

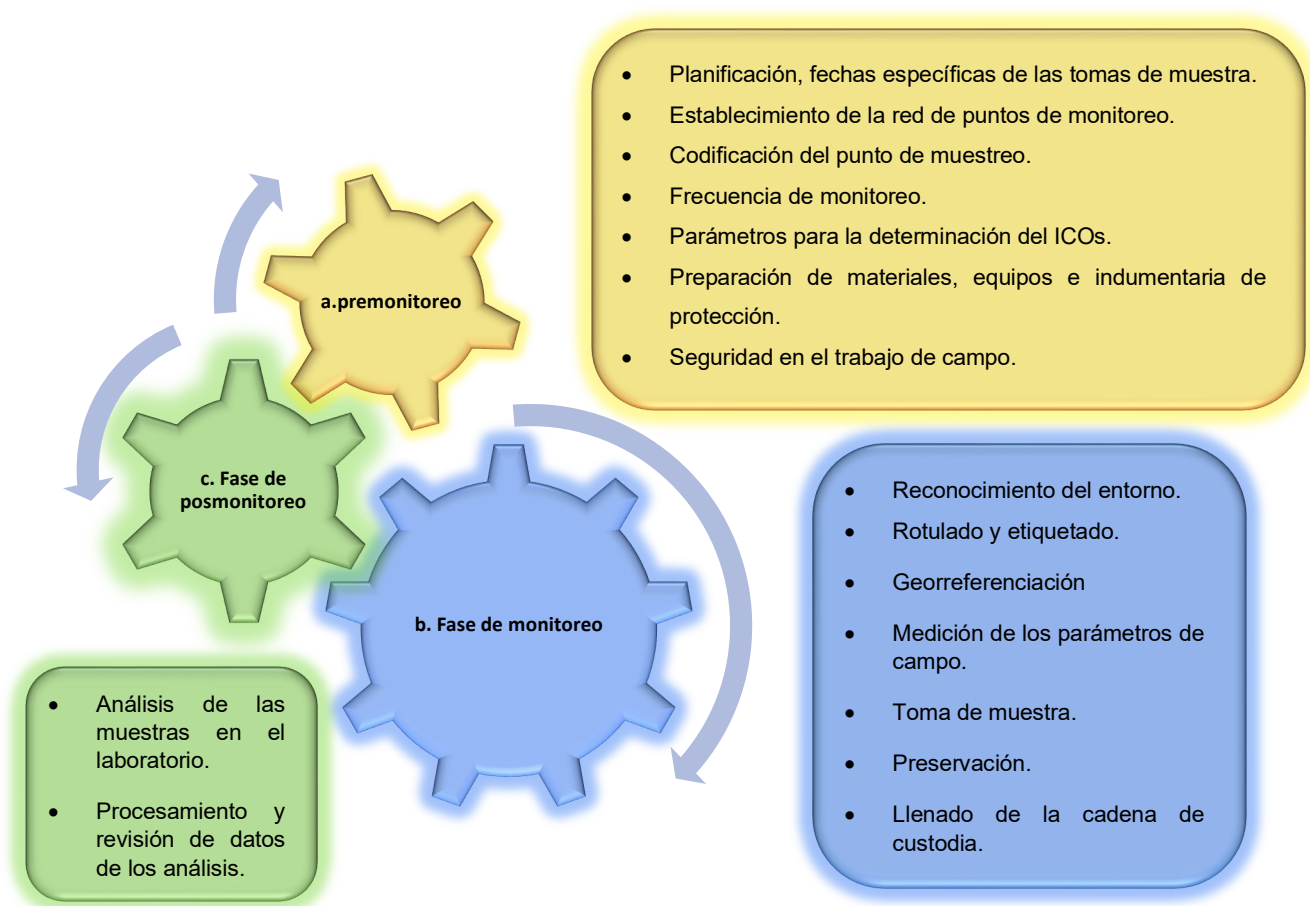
En este ítem se describe las técnicas que sirvieron para la recolección de datos para la investigación.

3.4.1.1. Planificación del monitoreo

La planificación del monitoreo se realizó tomando en cuenta lo estipulado por la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA (ver anexo 3) que describe el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” y adaptándolo al objetivo de la presente investigación, el mencionado protocolo engloba tres fases y son las siguientes:

Figura 7

Fases del monitoreo



Bajo esta línea se muestra a continuación las coordenadas UTM de los puntos de muestreo.

Tabla 9*Coordenadas UTM de los puntos de muestreo*

Código de muestra	Zona	Coordenadas UTM	Referencia
RMuyu-01		588085,61 m E 8547429,71 m S	Se consideró 100 m abajo desde la unión de los ríos Alameda y Huatatas.
RMuyu-02		588019,56 m E 8548752,60 m S	A una distancia de 1324,54 m abajo del primer punto de estación, el cual es el Centro Poblado 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 789,32 m abajo del segundo punto de estación.
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 748,10 m abajo del tercer punto de estación.

3.4.1.2. Toma de muestra

Las muestras extraídas del río Muyurina fueron puntuales y se efectuaron siguiendo los criterios descritos 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)”, ver anexo 3.

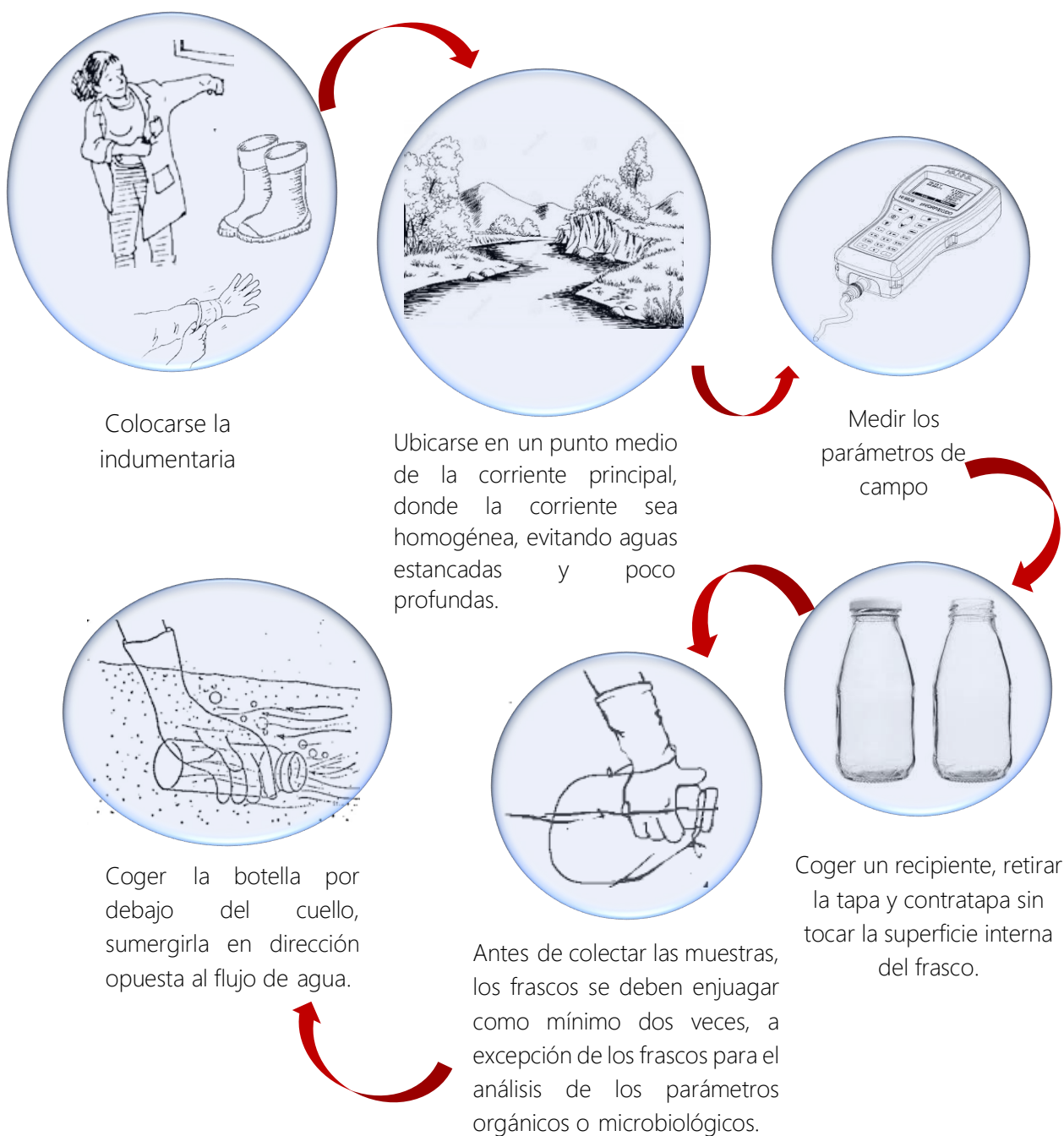
Para la toma de muestras se ha preparado todos los equipos y materiales para el momento del muestreo. En base en el establecimiento de cuatro (04) estaciones de muestreo, efectuadas tanto en época de estiaje y de lluvia, a continuación, se describe el procedimiento de acuerdo a la época efectuada:

a. Época de estiaje

En esta época el caudal del río Muyurina es bajo o tiene poca profundidad, es decir se traduce en un fácil acceso de ingreso al cuerpo de agua. En tal sentido, se evitó la contaminación de las muestras por efecto de disturbar los sedimentos del fondo. En la siguiente figura se presenta un esquema referido a la toma de muestra en época de estiaje.

Figura 8

Esquema de toma de muestra en época de estiaje



b. Época de lluvia

En este escenario se tiene que la corriente del río es caudaloso o profundo. El procedimiento se esquematiza a continuación:

Figura 9

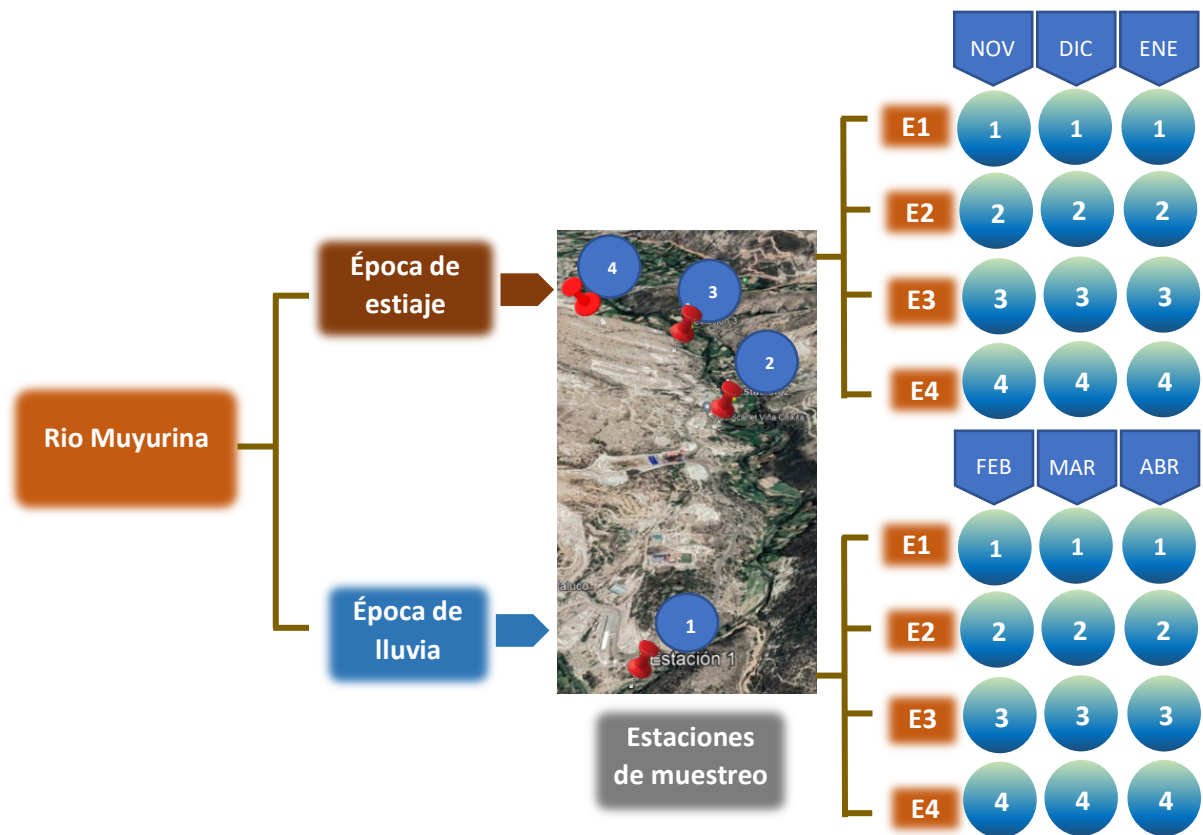
Esquema de toma de muestra en época de lluvia



Se establecieron cuatro (4) estaciones de muestreo en el recorrido del río Muyurina, se efectuaron seis (6) muestreos, es decir tres (3) muestreos en época de estiaje, considerados los meses de noviembre, diciembre, enero y tres (3) muestreos en época de lluvia considerados los meses de febrero, marzo y abril, con un total de 24 muestreos. Según lo anterior se esquematiza la organización de los puntos de muestreo en la siguiente figura.

Figura 10

Esquema de la organización de puntos de muestreo



Nota. Para el análisis microbiológico es necesario dejar un espacio del 10 % del volumen del recipiente con la finalidad de asegurar un adecuado suministro de oxígeno para las bacterias y para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), el frasco debe llenarse lentamente en su totalidad para evitar la formación de burbujas.

3.4.1.3. Conservación y preservación de la muestra

Las muestras recolectadas fueron conservadas dentro de cajas térmicas (coolers) de forma vertical para que no ocurran derrames ni se expongan a la luz del sol, bajo un sistema de enfriamiento de 4 °C para luego ser 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 respectivo.

En la siguiente tabla se muestra según el ICOs y los parámetros correspondientes, el tipo de recipiente, condiciones de preservación y almacenamiento y tiempo máximo de almacenamiento. A modo general se tiene las especificaciones de términos abreviados

como: (FEP) perfluoro (etileno/propileno), (PE-HD) polietileno de alta densidad, (PTFE) politetrafluorotileno, (PFA) perfluoroalcoxi-polímero. "Filtrar in situ" Indica que la muestra de agua debe ser filtrada en campo usando un tamaño de poro de filtro de 0,40 µm 0,45 µm.

Tabla 10

Conservación y preservación de muestra de agua para el ICOMI

Parámetro	Tipo de recipiente	Condiciones de preservación y almacenamiento	Tiempo máximo de almacenamiento
Conductividad	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente in situ.	24 horas
Dureza	PE-HD o PTFE / PFAo FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con HCl o HNO ₃ .	1 mes
Alcalinidad	Plástico o vidrio	Conservadas a 5 °C ± 3 °C	14 días

Fuente: (Internacional Organization for Standardization [ISO], 2012)

Tabla 11

Conservación y preservación de muestra de agua para el ICOMO

Parámetro	Tipo de recipiente	Condiciones de preservación y almacenamiento	Tiempo máximo de almacenamiento
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 °C. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	1 mes (6 meses si >50 mg/L).
Oxígeno disuelto	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente in situ.	Inmediatamente
	Botellas de vidrio Winkler	Fijar el oxígeno. Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	4 días

Parámetro	Tipo de recipiente	Condiciones de preservación y almacenamiento	Tiempo máximo de almacenamiento
Coliformes totales	Vidrio estéril	Dejar “un espacio para aireación y mezcla de 1/3 del frasco de muestreo. Almacenar a $\leq 6^{\circ}\text{C}$ y en” oscuridad.	24 horas

Fuente: (Internacional Organization for Standardization [ISO], 2012) (Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012).

Tabla 12

Conservación y preservación de muestra de agua para el ICOpH, ICOSUS y ICOTRO

ICOs	Parámetro	Tipo de recipiente	Condiciones de preservación y almacenamiento	Tiempo máximo de almacenamiento
ICOpH	pH	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente in situ.	24 horas
ICOSUS	Sólidos Suspendidos Totales	Plástico o vidrio	Conservadas a 5°C $\pm 3^{\circ}\text{C}$.	2 días
ICOTRO	Fósforo total	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1 - 2 con H_2SO_4 o HNO_3	1 mes
			Congelar por debajo de -18°C .	6 meses

Fuente: (Internacional Organization for Standardization [ISO], 2012)

En la siguiente tabla a modo de resumen se muestra los diferentes parámetros necesarios para la determinación de los ICOs del río Muyurina con su descripción de la toma de muestra y el equipo requerido.

Tabla 13

Parámetros necesarios para el ICOs

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

N°	Parámetros	Descripción de toma de muestra	Equipos y/o insumos
2	pH	plástica, disponiendo los electrodos en una	HANNA, previamente
3	Conductividad	cantidad de 1 000 mL de muestra,	calibrado.
4	Temperatura	primeramente, se midió el parámetro de Oxígeno Disuelto, luego el pH, temperatura.	
5	Sólidos Suspendidos 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 almacenamiento, hacerlo a temperatura $\leq 6^{\circ}\text{C}$ por un tiempo máximo de 7 días.	Estufa, equipo de filtración, filtros para análisis gravimétrico: ap40 millipore o equivalente (como gf 1822047 ó 934ah whatman).
6	Alcalinidad	Las muestras pueden colectarse en frascos plásticos o de vidrio borosilicatado de no menos de 200 mL, los que deben llenarse completamente y taparse herméticamente. No existe método de preservación. Deben analizarse sin dilación y evitando alterar las condiciones originales como el pH. En caso de requerirse almacenamiento, hacerlo a temperatura $\leq 6^{\circ}\text{C}$ por un tiempo máximo de 48 horas.	Bureta, erlenmeyers de vidrio, preferiblemente de 200-300 mL, agitador magnético. H_2SO_4 , carbonato de sodio anhidro, indicador mixto, fenolftaleína, alcohol etílico, tiosulfato de sodio.
7	Dureza Total	Las muestras pueden recolectarse en frascos de plástico o vidrio. Se recomienda analizar sin dilación, aunque pueden preservarse a $\text{pH} < 2$ con ácido nítrico o ácido sulfúrico y almacenarse por un tiempo no mayor de seis meses sin necesidad de refrigeración. No obstante, puede refrigerarse la muestra si otros analitos así lo requieren.	Bureta, erlenmeyers de vidrio, preferiblemente de 200-300 mL, agitador magnético. Solución EDTA, solución de calcio Estándar, solución tampón para Dureza Total, NaOH, HCl, indicador negro de eriocromo T, indicador de murexida.
8	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	La muestra se recolecta 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.

N°	Parámetros	Descripción de toma de muestra	Equipos y/o insumos
9	Fosfatos	La muestra se recolecta en 01 frasco de plástico de 1 000 mL, con previo doble enjuague.	Este parámetro no requiere de reactivos de preservación, solo se refrigera con ice pack para su traslado.
10	Coliformes termotolerantes o fecales	La muestra se recolecta en 01 vaso de plástico o 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 refrigera con ice pack y los frascos se embalaron en bolsas de poliburbujas para su traslado.

Fuente: Adaptado de (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, 2016) y (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013)

Dentro de la fase de monitoreo es necesario comentar sobre el rotulado y etiquetado, el cual se describe a continuación.

3.4.1.4. Rotulado y etiquetado

Los recipientes se rotularon con etiquetas autoadhesivas, el etiquetado se realizó antes de la toma de muestras considerando la siguiente información.

- Nombre del solicitante
- Código del punto de muestreo
- Fecha y hora de muestreo
- Tipo de análisis requerido

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

3.4.2.1. Equipos

Los equipos que se utilizaron son 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 (880 nm) con cubetas para las lecturas.
- Agitador magnético
- Equipo de filtración
- Desecador

3.4.2.2. Materiales

- Frasco de plástico de 500 mL con tapa hermética
- Frascos oscuros
- Frascos oxitop
- Caja de Tecnopor
- Bureta
- Erlenmeyers de vidrio, preferiblemente de 200-300 mL
- Frasco ámbar
- Matraz
- Libreta de apuntes
- Filtros para análisis gravimétrico
- Probetas
- Etiquetas para el rotulado
- Cubetas para espectrofotometría
- Soporte universal
- Vaso precipitado
- Pipetas
- Probeta

- Fiolas
- Papel “filtro de tipo circular Whatman” N° 50
- Picetas
- Marcador indeleble
- Espátula
- Placas Petri
- Tubos de ensayo
- Gradilla
- Indumentaria (mandil, cubreboca, botas de jebe y guantes descartables)
- Asa de siembra y asa micológica

3.4.2.3. Reactivos

- Solución de ácido sulfúrico 1 N.
- Solución de ácido sulfúrico 0,02 N.
- Carbonato de sodio anhidro 0,02 N
- Indicador mixto (verde de bromocresol-rojo de metilo)
- Alcohol etílico (95%)
- Fenolftaleína
- Tiosulfato de sodio 0,1 M
- Solución EDTA 0,01 M
- Carbonato de calcio anhidro
- Cloruro de amonio
- Hidróxido de amonio concentrado
- Solución de hidróxido de sodio 1 N
- Solución de ácido clorhídrico 1:1
- Indicador Negro de Eriocromo T
- Indicador de Murexida
- Solución Madre de Fosfatos (100 mg PO₄³⁻/L).
- Solución Patrón de Fosfatos (1 mg PO₄³⁻/L)
- Agua destilada

3.5. Técnicas de procedimiento y análisis de datos

En este ítem se describirá el procedimiento efectuado para la determinación de los parámetros y determinar los índices de contaminación ICOs del río Muyurina.

3.5.1. Técnicas de procedimiento

En este punto es necesario señalar que los muestreos se dividieron en in situ y ex situ donde se midieron diferentes parámetros según las necesidades de cada uno.

3.5.1.1. Medición in situ

A. Procedimiento para la determinación de Oxígeno Disuelto, conductividad, temperatura y pH

- Se efectuó mediante el multiparámetro, modelo HANNA, colocando el sensor en el recipiente que contenía la muestra colectada.
- Una vez estabilizado el equipo multiparámetro se observó el valor en la pantalla, el cual fue registrado como valor del parámetro respectivo.

3.5.1.2. Medición ex situ

Son referidas a los parámetros analizados en laboratorio.

A. Procedimiento para la determinación de alcalinidad

Procedimiento experimental por método de titulación.

- a. Se midió el pH de la muestra para seleccionar el indicador, para lo cual todas las muestras estuvieron con un pH < 8,5 y >6, por ende, se seleccionó el indicador naranja de metilo.
- b. Se vertieron 50 mL de la muestra en el Erlenmeyer de 250 mL y se agregó agitando 3 gotas de reactivo indicador, hasta que se notó una coloración leve naranjada.
- c. Se tituló bajo la bureta con solución de ácido sulfúrico, agitando y añadiendo gota a gota hasta el viraje a color amarillo.
- d. Finalmente se determinó el volumen del ácido gastado con la siguiente ecuación propuesta por el "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 23rd Edition, 2017. Para mayor detalle se tiene el anexo 4

$$\text{Alcalinidad total } \left(\frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} \right) = \frac{A \times N}{\text{muestra (mL)}} \times 50000 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

A = mL utilizados de ácido estándar

N = normalidad del ácido estándar

B. Procedimiento para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

- Se vació el contenido del frasco de vidrio en una probeta graduada en una cantidad de 428 mL.
- Se vació el contenido de la probeta a los frascos oxitop.
- Se colocó las varillas de agitación magnética en los frascos.
- Se añadió 10 gotas de inhibidor de nitrificación.
- En el recipiente de caucho que se coloca en la boca del frasco oxitop se añadió 3 pastillas de hidróxido de sodio.
- Se cerraron los frascos oxitop con los cabezales de medición o también llamados sensores de presión. Con la ayuda del mando a distancia se activa el sensor.
- Se colocaron los frascos en las plataformas de agitación.
- Se colocaron las plataformas en la incubadora a 20 °C durante 5 días.
- Se anotaron las lecturas de la DBO₅ en mg/L al quinto día.

C. Procedimiento para la determinación de dureza total

Se efectuó por el método titulométrico EDTA (ácido etilendiaminotetraacético y sales de sodio), se empleó para hallar la dureza total. A continuación, se explica el procedimiento:

- Se agregó 25 mL de la muestra en un Erlenmeyer de 250 mL, luego se adicionó 2 mL de buffer pH 10 verificando que el pH estuviera en 10, se agregó 50 mg de negro de eriocromo, donde la muestra tomo un color morado.
- Finalmente se tituló con EDTA (0,01 N) en una bureta, para cada prueba se diluyo 0,94 g de EDTA los cuales se diluyeron en 250 mL de agua destilada.
- Se colocó el Erlenmeyer en una plancha agitadora con su respectivo agitador.
- Se tomó el volumen gastado hasta obtener el color azul. Para mayor detalle

sobre la determinación de dureza total consultar anexo 4.

Para obtener la concentración final de la dureza total se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{Dureza total } \left(\frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} \right) = \frac{V_{\text{EDTA}} (\text{mL}) \times M_{\text{EDTA}} (\text{mol/L})}{V_{\text{muestra}} (\text{mL})} \times 100091 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

V_{EDTA} = Volumen de Titulante (EDTA) para valorar dureza, mL.

M_{EDTA} = Concentración de EDTA, mol/L

V_{MUESTRA} = Alícuota de muestra titulada, mL.

100091 = Peso atómico del carbonato de calcio (100,091 g/mol) x 1000 mg/g.

D. Procedimiento para la determinación de fósforo total

Se efectuó por el método espectrofotometría siguiendo el procedimiento siguiente:

Primeramente, se realizó la construcción de la curva patrón, para lo cual se lavó el material de vidrio con Solución de H_2SO_4 al 10 %.

- Se colocó papel filtro de tipo circular Whatman N° 50 en el embudo de filtración.
- Se filtró 10 mL de agua destilada para humedecer el papel filtro.
- 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 previamente reactivo mixto en cantidades y orden siguiente: 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, 30 mL de solución de ácido ascórbico.
- A cada uno de los frascos se agregaron una gota de fenolftaleína para observar si se desarrolla un color fucsia.
- Se añadió 8 mL del reactivo mixto a cada una de las muestras y luego se agitó.
- Después de por lo menos 10 minutos, pero no más de 30 minutos se realizó la lectura al espectrofotómetro a una longitud de onda de 880 nm.
- Se hizo la lectura de fosfatos en mg/L, ello resultando de la curva estándar.
- Cuando las lecturas superaron los valores mínimos y máximos se realizó la dilución de la muestra, 10 mL de este en 90 mL de agua destilada y se volvió a

leer nuevamente, para luego multiplicarlo por 10. Para mayor detalle de la determinación de fosfatos se tiene el anexo 4.

E. Procedimiento para la determinación de Sólidos Suspendidos

El procedimiento se describe a continuación.

Preparación del filtro de fibra de vidrio:

- Alistar la estufa a una temperatura entre 103-105 °C.
- Marcar el filtro mediante numeración consecutiva.
- Colocar el filtro (con la cara rugosa hacia arriba), en el equipo de filtración.
- Aplicar vacío y lavar el filtro con 3 porciones sucesivas de 20 mL de agua destilada.
- Mantener la filtración hasta la remoción total de las trazas de agua.
- Desechar el filtrado.
- Retirar el filtro, colocarlo en un papel de aluminio y secarlo en estufa a 103-105 °C durante una hora.
- Enfriar en el desecador hasta su empleo, pesar el filtro, y registrar los datos.
- Repetir hasta que la variación del peso sea $< 4 \%$ ó de 0,5 mg. Anotar el peso del filtro (peso A).

Análisis de la muestra:

- Esperar a que la muestra se encuentre a temperatura ambiente.
- En función del aspecto de la muestra, seleccionar el volumen a filtrar.
- Coger el filtro previamente tarado del desecador, llevarlo al equipo de filtración e iniciar la succión.
- Agitar la muestra adecuadamente y depositar el volumen seleccionado sobre el filtro.
- Una vez que la muestra haya terminado de filtrar, lavar 3 veces sucesivas con volúmenes de 10 mL de agua destilada dejando secar entre lavados.
- Retirar el filtro y llevarlo al papel de aluminio (al mismo donde se guardó en el desecador) y secarlo en la estufa a 103-105 °C durante una hora. A criterio del analista, el secado puede extenderse (incluida toda la noche), cuando la apariencia física de la muestra denote presencia de grasa o alto contenido de sales.

- Enfriar en desecador, pesar el filtro y registrar los datos.
- Repetir el ciclo de secado, enfriamiento, desecado y pesado, hasta que la variación del peso sea $< 4 \%$ ó de 0,5 mg (lo que resulte menor). Anotar los pesos del filtro (peso B).

Cálculos y presentación de resultados

$$\text{mg sólidos suspendidos totales} / L = [(B - A) \times 1000] / \text{volumen muestra (mL)} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

A = peso del filtro seco antes de la filtración (en mg)

B = peso del filtro + residuo seco (en mg)

F. Procedimiento para la determinación de coliformes totales

- Se preparó el caldo A-1.
- Se vació la solución del caldo A-1 en los tubos de ensayo, en un volumen de 9 mL, se añadieron las campanas de Durham en cada uno y luego fueron llevados a la autoclave para esterilizarlos.
- Se prepararon frascos con agua de dilución estéril para realizar las diluciones sucesivas.
- Se vació 10 mL de la muestra en uno de los frascos con agua de dilución, este viene a tener una dilución de 10^{-1} .
- Se desarrolló la siguiente dilución, esto quiere decir que se vertió 10 mL de la muestra diluida anteriormente (10^{-1}) al siguiente frasco con agua de dilución para tener una dilución de 10^{-2} .
- Se efectuó la siguiente dilución, vertiendo 10 mL de la muestra diluida (10^{-2}) al siguiente frasco con agua de dilución para tener una dilución de 10^{-3} .
- Se tomó 1 mL de cada uno de los frascos que contienen las diluciones y se añadieron a los tubos de ensayo, los cuales contienen la solución del caldo A - 1. Cada dilución se sembró 5 veces, es decir quintuplicado.
- Los tubos de ensayo conteniendo las muestras a las diferentes diluciones fueron colocadas en una gradilla.
- Seguidamente se colocaron en baño maría a $44,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.
- Pasado este tiempo se efectuó la lectura de los tubos positivos, esto se traduce

con la presencia de gas en las campanas de Durham de cada una de las diluciones.

- En concerniente al cálculo de la cantidad de coliformes totales, se realizó de acuerdo a la cantidad de los tubos positivos que se encontraron en cada una de las diluciones, con estos se tiene una combinación para cada zona de muestreo.
- Esta combinación se busca en la tabla del NMP que se puede apreciar en el anexo 5), después este valor es multiplicado por la inversa de la última dilución positiva dividido entre 10, para así obtener el resultado en NMP/100 mL (López C. S., 2012).

Las tablas mencionadas líneas arriba que se reportan en el anexo 5, las cuales son necesarias para el cálculo de coliformes totales se extrajeron del “Manual práctico de microbiología-Tomo II: Microbiología Ambiental II” (Manacorda, Álvarez, Pezzullo, & Cuadros, 2014).

3.5.2. Análisis de datos

Dentro de los análisis realizados tenemos los análisis básicos, volumétricos, gravimétricos y microbiológico y complementado por el análisis por espectrofotometría.

3.5.2.1. Análisis básicos

Dentro de los análisis básicos se tiene a los parámetros de pH, temperatura, conductividad-salinidad.

3.5.2.2. Análisis volumétrico

Un análisis volumétrico es todo aquel procedimiento basado en la medida de volumen de reactivo necesario para reaccionar con el analito. De este modo, al medir de forma exacta el volumen de reactivo, de concentración perfectamente conocida, necesario para reaccionar completamente con el analito, podremos calcular su concentración en la muestra (Campillo, 2011). Dentro de los análisis volumétricos se incorpora los parámetros de alcalinidad y dureza total.

3.5.2.3. Análisis gravimétricos

“El análisis gravimétrico es una clase de técnica de laboratorio utilizada para determinar la masa o la concentración de una sustancia midiendo un cambio en la masa” (Khan

Academy, 2015). En este análisis, el químico que estamos tratando de cuantificar suele llamarse el “analito”. Este análisis se realizó para la determinación de Sólidos Suspendidos Totales.

3.5.2.4. Análisis colorimétricos

“El análisis colorimétrico se fundamenta en la medida de la interacción de la luz de una determinada longitud de onda con un compuesto de interés (analito) presente en una disolución” (Condezo-Hoyos, Abderrahim, & Arribas, 2015). Este análisis se realizó para la determinación de Fosfatos.

3.5.2.5. Análisis microbiológico

El análisis microbiológico está relacionado a la determinación de los coliformes totales.

3.5.2.6. Espectrofotometría

Se refiere a la utilización de la luz para determinar la cantidad de analito presente en muestras problemas. Es un método de análisis químico basado en la cantidad de radiación que la muestra absorbe, la que está en función de la concentración del analito, que absorbe una parte de la luz incidente y la otra lo transmite, además se produce otros fenómenos como la dispersión y la reflexión. Cuando una molécula absorbe luz pasa a un estado excitado de mayor energía (Alcarraz, 2011).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados son presentados en tablas y figuras, mostrando estadísticos descriptivos de distribución de los valores mínimos, máximos, promedios tendencia central y el valor de la probabilidad, es decir de “p”. Asimismo, se presentan figuras donde se puede apreciar según el parámetro como conductividad (uS/cm), pH, Oxígeno Disuelto (mg/L), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y Coliformes fecales (NMP/100 mL), la comparación con los estándares de calidad ambiental (ECA) para el agua de categoría 3, según D.S.N° 004-2017-MINAM, el cual se encuentra colocado hacia el lado izquierdo de la figura que corresponde, asimismo se tiene el anexo 6 para mayor detalle de la normativa. Para poder comparar el valor de cada uno de los parámetros y los Índices de Contaminación (ICOs) del río Muyurina entre los meses de estudios (noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril) se realizó la prueba “no paramétrica” de Kruskal - Wallis, en base a las características fisicoquímicas y microbiológicas mediante el software SPSS. Asimismo, se empleó el software Excel para efectuar los cálculos y elaborar las gráficas de los índices de contaminación (ICOs) comparando cada estación de muestreo y las temporadas de toma de muestra para una adecuada discusión de resultados. A continuación, se presenta el detalle de las zonas de muestreo.

Tabla 14*Detalle de los puntos de muestreo*

N° Muestreo	Puntos de muestreo	Fecha	Época
1	RMuyu-01	21/11/2018	Estiaje
2	RMuyu-02	19/12/2018	Estiaje
3	RMuyu-03		
3	RMuyu-04	22/01/2019	Estiaje
4	RMuyu-01	25/02/2019	Lluvia
5	RMuyu-02	15/03/2019	Lluvia
	RMuyu-03		
6	RMuyu-04	15/04/2019	Lluvia

4.1. Conductividad

La conductividad de una solución es una medida de la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica y permite conocer la concentración de especies iónicas presentes en el agua (Severiche, Carlos A.; Barreto, Arnaldo J.; Acevedo, Rosa L., 2013). El ECA para el parámetro de conductividad para la categoría 3 en el primer caso para riego de vegetales menciona un valor de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y para la bebida de animales 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En este sentido tenemos que los valores reportados de conductividad están muy por debajo de los ECAs.

Tabla 15

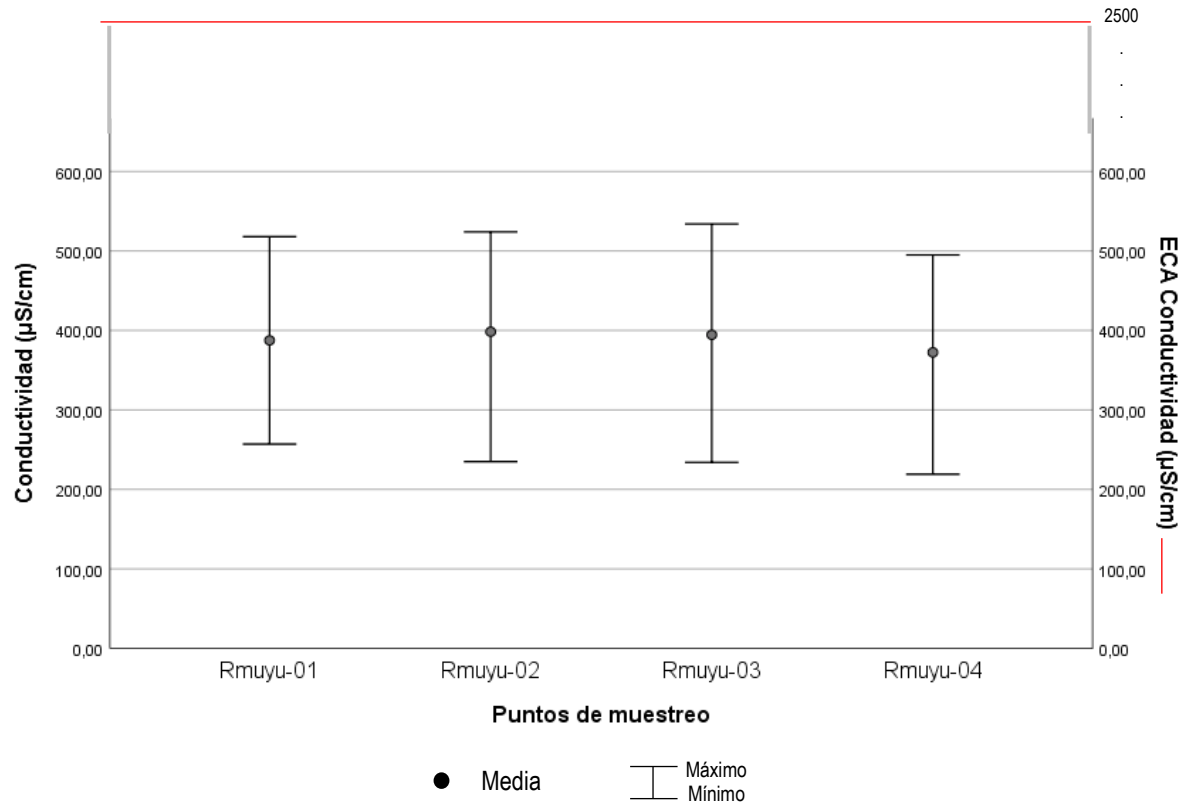
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en los cuatro puntos de muestreo, ECA para agua categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM y datos estadísticos

Código de muestra	Unidad de medida	Mes de muestreo						Valores		
		Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mínimo	Máximo	Media
RMuyu-01	μS/cm	379	275	257	464	518	432	257	518	388
RMuyu-02	μS/cm	349	235	286	524	475	521	235	524	398
RMuyu-03	μS/cm	350	259	234	532	458	534	234	534	395
RMuyu-04	μS/cm	354	254	219	495	421	491	219	495	372
ECA conductividad para agua categoría 3 – D.S. N°004-2017-MINAM										
D1: Riego de vegetales	μS/cm	2500								
D2: Bebida de animales	μS/cm	5000								
Datos estadísticos										
Media global					388					
Desviación estándar					113					
p					0,932					

La probabilidad de error en este parámetro es del 93,2 % el cual es un valor superior al nivel de significancia de 5 %, entonces se afirma que la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de las muestras estadísticamente no son distintas según los puntos de muestreo, es decir no hay diferencia significativa.

Figura 11

Distribución de los valores mínimos, máximos, medias de la conductividad de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo en los 6 meses y ECA para agua categoría 3



4.2. Dureza

A continuación, se muestran los resultados respecto a la dureza del cuerpo de agua.

Tabla 16

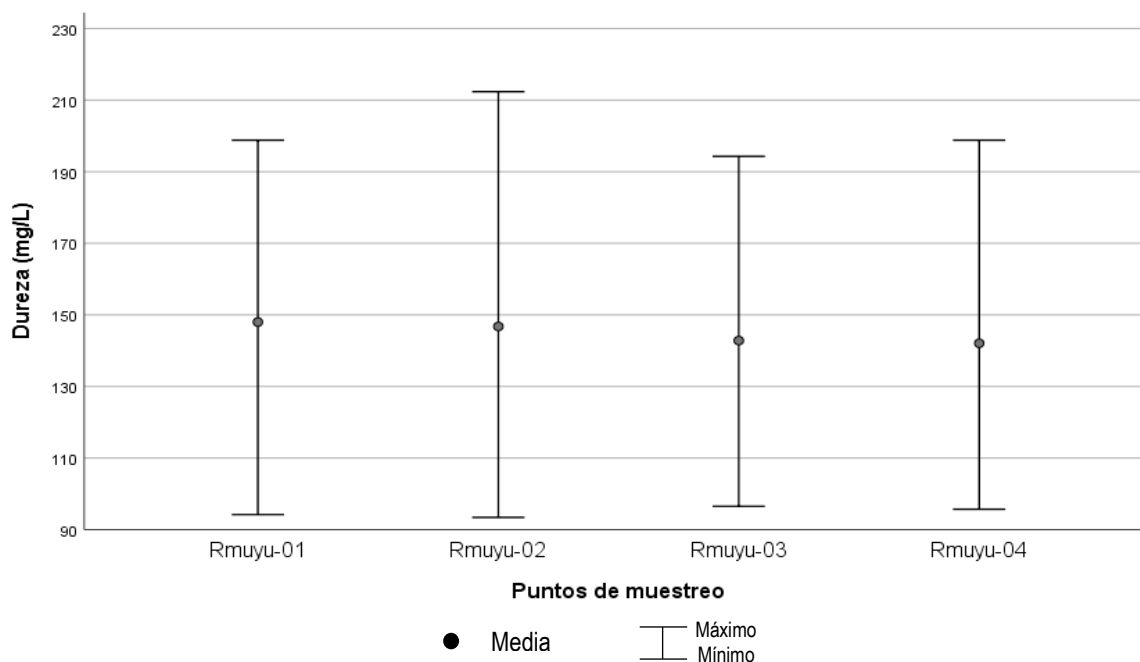
Lecturas de dureza (mg/L) en los cuatro puntos de muestreo y datos estadísticos

Código de muestra	Unidad de medida	Mes de muestreo						Valores		
		Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mínimo	Máximo	Media
RMuyu-01	mg/L	111,50	98,70	94,20	192,01	198,81	192,70	94,20	198,81	147,99
RMuyu-02	mg/L	110,00	93,43	99,40	190,22	212,36	175,18	93,43	212,36	146,77
RMuyu-03	mg/L	104,29	96,54	98,94	192,01	194,29	170,80	96,54	194,29	142,81
RMuyu-04	mg/L	107,76	95,70	98,94	184,83	198,81	166,42	95,70	198,81	142,08

Datos estadísticos	
Media global	144,91
Desviación estándar	46,16
p	0,985

Figura 12

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



El agua dura se genera cuando el magnesio y el calcio se disuelven en el agua, también se debe a la presencia de hierro, el grado de dureza de un agua aumenta, cuanto más calcio y magnesio hay disuelto (Dirección General de Salud [DIGESA], 2017). El rango de la dureza de las aguas del río Muyurina es 93,43 a 212,36 mg/L, por lo que se podría considerar como agua moderadamente dura según el trabajo efectuado por (Neira, 2010).

Con respecto a los resultados estadísticos podemos mencionar lo siguiente: Como la probabilidad de error del 98,5 % es un valor superior al del nivel de significancia de 5 % podemos afirmar que la dureza (mg/L) de las muestras estadísticamente no son distintas según los puntos de muestreo, es decir no hay diferencia significativa.

4.3. Alcalinidad

Se sabe que la alcalinidad puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones hidrógeno como su capacidad para

aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (Romero, 2009).

Tabla 17

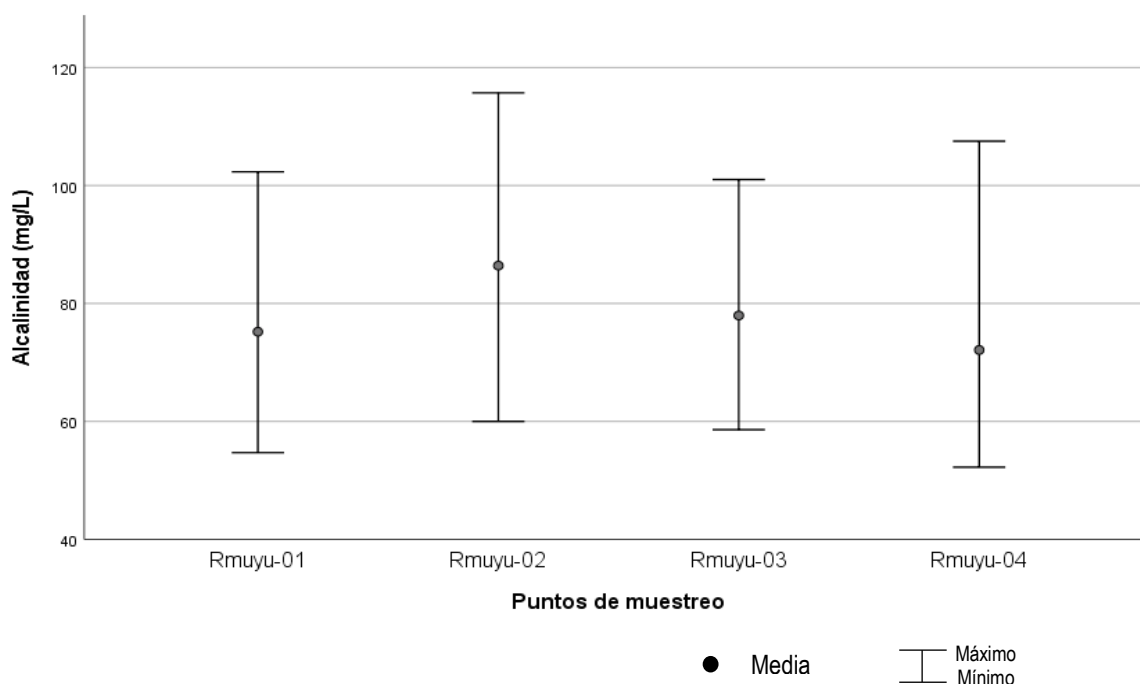
Lecturas de alcalinidad (mg/L) en los cuatro puntos de muestreo y datos estadísticos

Código de muestra	Unidad de medida	Mes de muestreo						Valores		
		Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mínimo	Máximo	Media
RMuyu-01	mg/L	54,70	65,80	59,80	94,00	102,32	74,60	54,70	102,32	75,20
RMuyu-02	mg/L	65,35	60,00	62,40	110,50	115,70	104,50	60,00	115,70	86,41
RMuyu-03	mg/L	62,23	62,50	58,60	101,00	94,70	88,70	58,60	101,00	77,96
RMuyu-04	mg/L	52,24	61,30	60,80	107,50	72,50	78,32	52,24	107,50	72,11
Datos estadísticos										
Media global					77,92					
Desviación estándar					20,553					
p					0,658					

De acuerdo a la tabla presentada, el rango de los valores de alcalinidad es de 52,24 a 115,70 mg/L. Con la probabilidad de error del 65,8 %, la alcalinidad (mg/L) de las muestras del río Muyurina es distinto según los puntos de muestreo; este porcentaje es mucho error ya que está por encima del nivel de significancia de 5 %. Por lo tanto, la alcalinidad (mg/L) de las muestras estadísticamente no es distinto según los puntos de muestreo, es decir no hay diferencia significativa.

Figura 13

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



4.4. Sólidos Suspendidos Totales

Los Sólidos Suspendidos Totales en las aguas se compone por arcilla, arena, plancton y otros organismos microscópicos; su entrada en los cuerpos de agua es por diversos factores de la erosión del terreno debido a las prácticas agrícolas y del arrastre de material durante la esorrentía de las aguas de lluvia (Romero, 2009).

Tabla 18

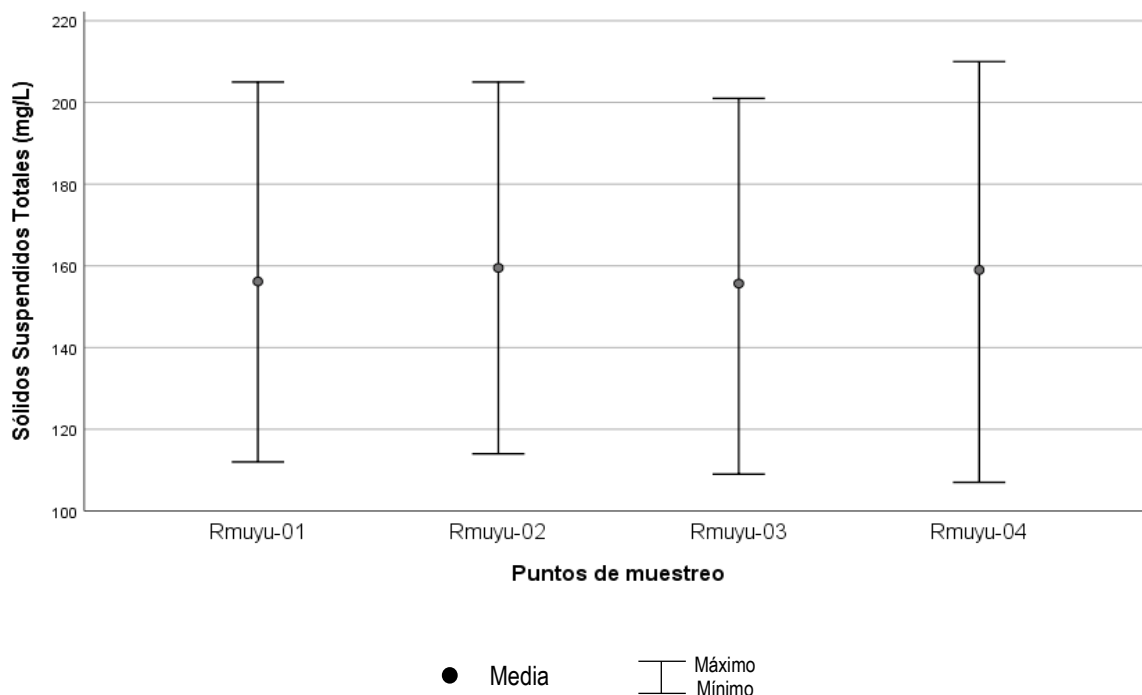
Lecturas de sólidos suspendidos Totales (mg/L) en los cuatro puntos de muestreo y datos estadísticos

Código de muestra	Unidad de medida	Mes de muestreo						Valores		
		Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mínimo	Máximo	Media
RMuyu-01	mg/L	118,00	112,00	124,00	180,00	205,00	198,00	112,00	205,00	156,17
RMuyu-02	mg/L	114,00	117,00	121,00	205,00	204,00	196,00	114,00	205,00	159,50
RMuyu-03	mg/L	111,00	109,00	119,00	198,00	196,00	201,00	109,00	201,00	155,67
RMuyu-04	mg/L	115,00	107,00	120,00	200,00	202,00	210,00	107,00	210,00	159,00
Datos estadísticos										
Media global		157,58								
Desviación estándar		43,36								
p		0,901								

Con la probabilidad de error del 90,1 %, los SST (mg/L) de las muestras de agua del río Muyurina no es distinto según los puntos de muestreo; este porcentaje es mucho error ya que está por encima del nivel de significancia de 5 %. Por lo tanto, los Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) de las muestras estadísticamente no son distintos según los puntos de muestreo, es decir no hay diferencia significativa.

Figura 14

Distribución de los valores mínimos, máximos y promedios de Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) de las aguas del río Muyurina en los cuatro puntos de muestreo determinadas en seis meses



La figura que se presenta respecto al parámetro de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en unidades de mg/L refleja los valores obtenidos para cada punto de muestreo durante la investigación y se expresaron como valores promedio y estos varían desde 107 a 210 mg/L, los valores corresponden al calculado de noviembre de 2018 a abril de 2019. La prueba estadística aplicada manifiesta que los valores obtenidos de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en las zonas de muestreo son diferentes.

4.5. Potencial de hidrógeno

El pH en aguas naturales está entre 6,00 y 8,50, aunque los valores más bajos pueden ocurrir en aguas diluidas con alto contenido de materia orgánica, y valores más altos en aguas eutróficas, salmueras subterráneas y lagos salados (WHO, 2011). Según los resultados obtenidos mencionamos que el pH es influido por el contenido de sales y los cambios de volumen de agua. En la época de estiaje aumenta por la concentración de las sales y disminuye en la época de lluvias (Rodríguez, 2020).

Tabla 19

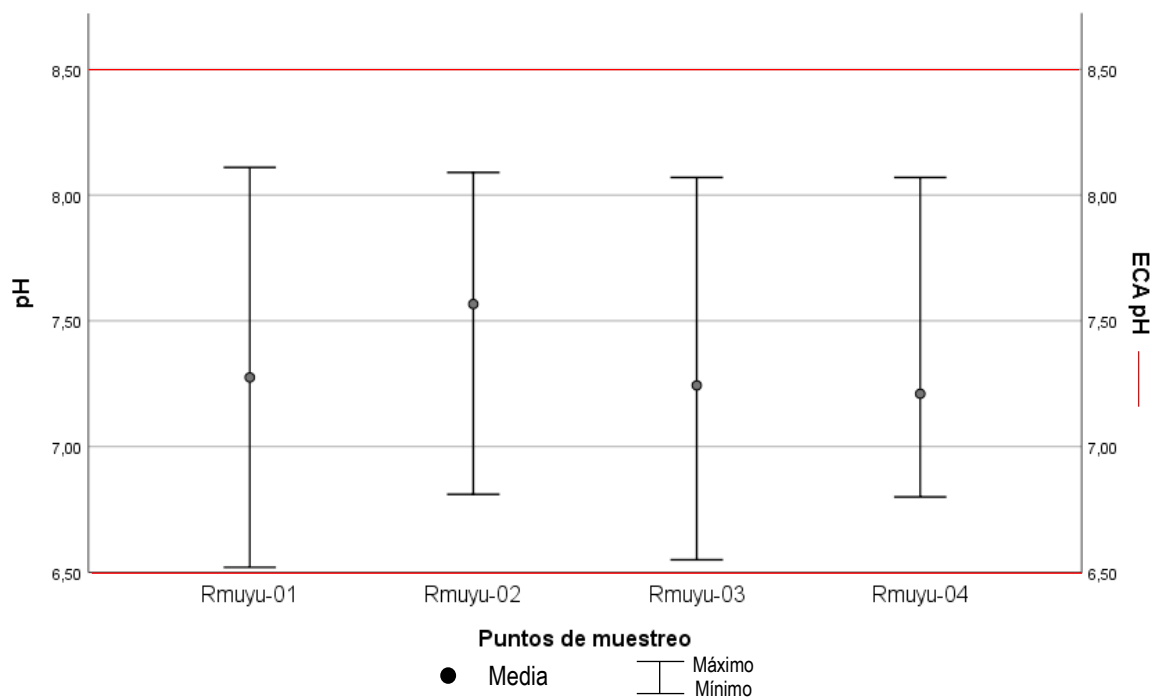
Lecturas de pH en los cuatro puntos por cada muestreo, ECA para agua categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM y datos estadísticos

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 la probabilidad de error del 61,7 %, el pH de las muestras de agua del río Muyurina es distinto según los puntos de muestreo, esto es mucho error ya que está por encima del nivel de significancia de 5 %. Por lo tanto, el pH de las muestras estadísticamente no es distinto según los puntos de muestreo, es decir no hay diferencia significativa.

Figura 15

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



En la figura respecto al parámetro de pH, los valores obtenidos para cada punto de muestreo durante la investigación se expresaron como valores promedio, estos varían entre 6,52 a 8,11 desde la zona de muestreo RMuyu-01 hasta la última zona RMuyu-04 respectivamente, los valores promedio corresponden al calculado en el periodo de noviembre del 2018 a abril del 2019. La prueba estadística aplicada manifiesta que el valor del pH entre las zonas de muestreos es similar. El rango de pH para aguas naturales oscila entre 6,5 y 8,5, donde la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de carbonates y bicarbonatos (Neira, 2010). Algunas de las quebradas y la peniplanicie donde se asienta la ciudad de Ayacucho se encuentran en depósitos pleistocénicas y lacustres de areniscas arcillosas y carbonatadas (Infoagro, 2013). Lo cual explica el carácter alcalino de las aguas del río Muyurina. El río Muyurina de acuerdo a la clasificación de cuerpos de agua pertenece a la categoría 3, los ECA para dicha categoría, respecto al parámetro menciona que, para el riego de vegetales, el pH debe estar en el rango de: 6,5 a 8,5; y para la bebida de animales menciona que el parámetro debe encontrarse en el rango de: 6,5 a 8,4; para ambos casos los valores encontrados en las cuatro zonas de muestreo si cumplen con los ECA.

4.6. Oxígeno Disuelto

El ECA para el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) para la categoría 3 en el primer asunto para riego de vegetales menciona que el valor debe ser mayor o igual a 4 mg/L y para la bebida de animales debe ser mayor a 5 mg/L, respecto a todos los valores de OD de las cuatro puntos de muestreo podemos afirmar que cumplen con el ECA para el riego de vegetales, inclusive los puntos RMuyu-03 y RMuyu-04 están por encima del mínimo, es decir que cumple el ECA tanto para riego de vegetales y bebida de animales. Cabe mencionar que los menores valores de Oxígeno Disuelto se tienen en el punto de muestreo RMuyu-02; esto responde a que en esta zona se da la descarga de desagüe de viviendas aledañas.

Tabla 20

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

Código de muestra										
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	4,40	5,48	4,91
RMuyu-02	mg/L	4,98	4,40	4,73	4,73	5,15	4,98	4,32	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								

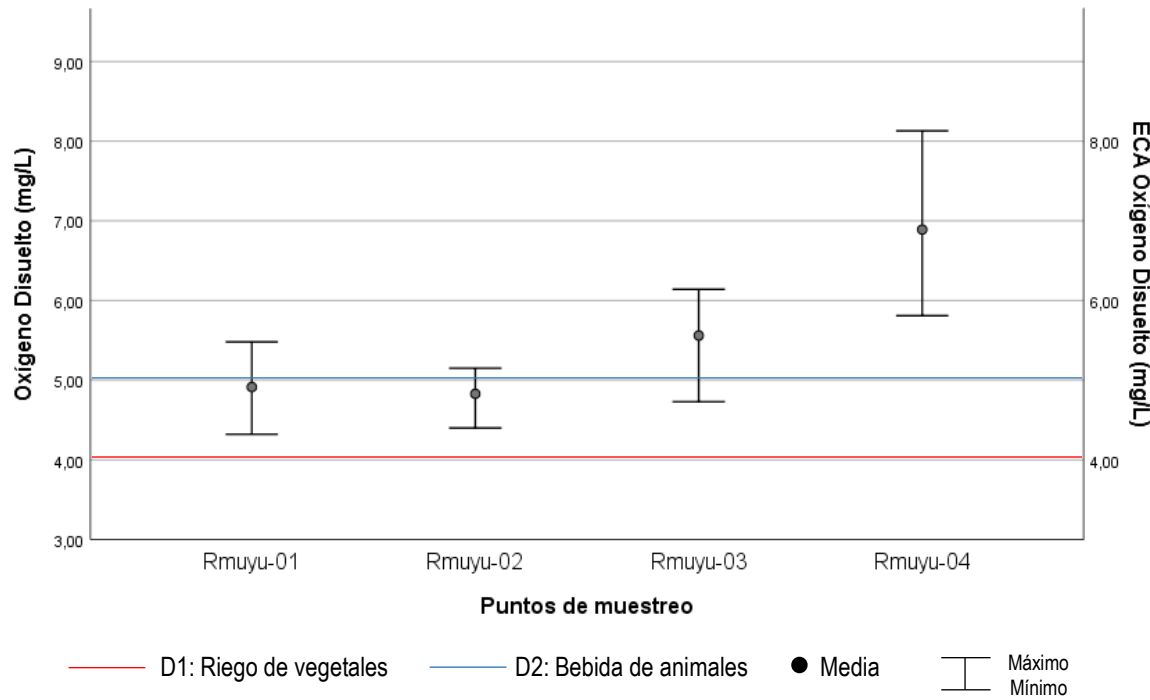
Por otra parte, el punto de muestreo RMuyu-04 cumple plenamente con el ECA ya que registra mayores valores de OD, ello es debido a que el río Muyurina se encuentra con el río Niño Yucaes y por lo tanto mejora las condiciones para el Oxígeno Disuelto en el agua.

Según los datos estadísticos de la tabla presentada, con la probabilidad de error del 0,2 %, el Oxígeno Disuelto (OD) de las muestras de agua del río Muyurina es distinto según los puntos de muestreo, este valor está por debajo del nivel de significancia de 5 %. Por lo tanto, en algún punto de los muestreos realizados, el Oxígeno Disuelto (OD)

estadísticamente es diferente, es decir hay diferencia significativa.

Figura 16

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



4.7. Variación de temperatura

La variación de temperatura considerada para la presente investigación está referida a la diferencia del valor de la temperatura del ambiente y la temperatura de las aguas de río Muyurina en cada uno de los puntos de muestreo y a lo largo de los seis meses establecidos.

Tabla 21

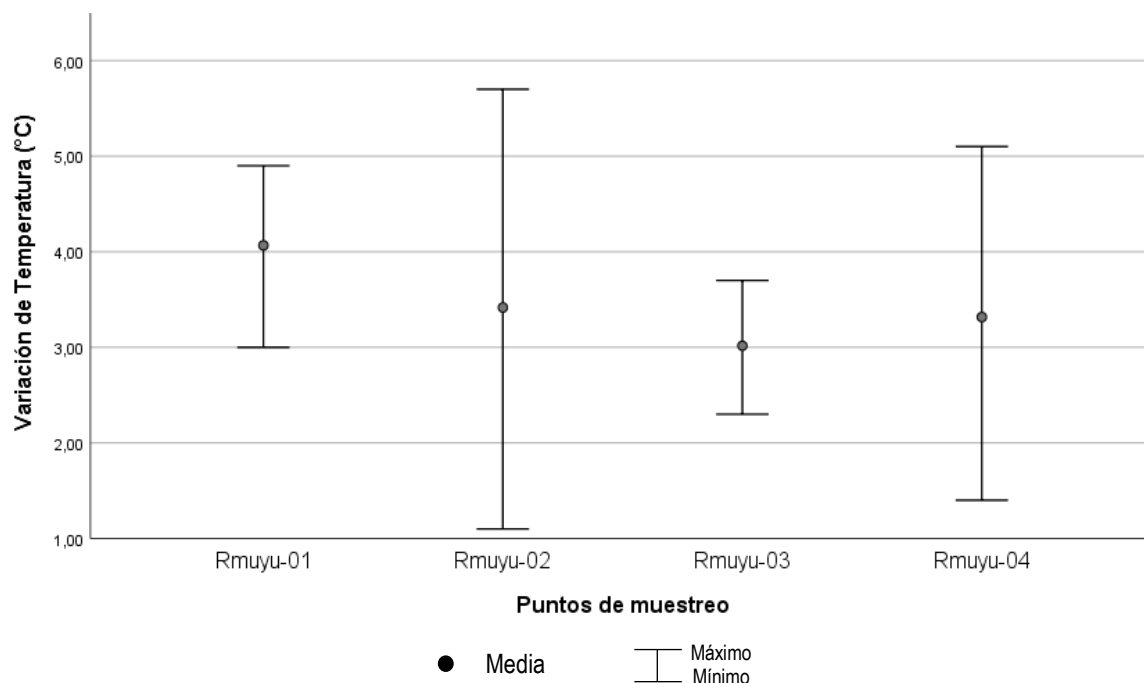
Variación de temperatura (°C) en los cuatro puntos por cada muestreo y datos estadísticos

Código de muestra	Unidad de medida	Mes de muestreo						Valores		
		Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mínimo	Máximo	Media
RMuyu-01	°C	4,9	4,3	3,0	4,4	3,8	4,0	3,00	4,94	4,07
RMuyu-02	°C	1,9	5,7	1,1	3,9	4,0	3,9	1,06	5,66	3,40
RMuyu-03	°C	3,2	3,4	2,7	2,3	2,8	3,7	2,29	3,70	3,01
RMuyu-04	°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 17

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



Con la probabilidad de error del 65,3 %, la variación de temperatura (°C) de las muestras de agua del río Muyurina es distinto según los puntos de muestreo; este valor de porcentaje se traduce en mucho error ya que está por encima del nivel de significancia de 5 %. Por lo tanto, la variación de temperatura (°C) de las muestras estadísticamente no es distinto según los puntos de muestreo, es decir no hay diferencia significativa.

4.8. Fosfatos

En la figura que se presenta respecto al parámetro de fosfatos, los valores obtenidos para cada zona de muestreo durante la investigación se expresaron en valores promedio y estos varían desde 0,2406 mg/L en el punto de muestreo RMuyu-02 a 0,9428 mg/L en el punto de muestreo RMuyu-01, los valores corresponden al promedio calculado en el periodo de noviembre de 2018 a abril de 2019. La prueba estadística (Kruskal - Wallis) aplicada manifiesta que los valores obtenidos de fosfatos en las zonas de muestreo son iguales. La principal fuente de este ion en aguas superficiales no contaminadas son las rocas igneas (Roldán & Ramirez, 2008) lo que se contrasta con la referencia de que

menciona que la ciudad de Ayacucho se encuentra cubierta por rocas de origen volcánico (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2018). Como podemos apreciar en la tabla siguiente, los valores de fosfatos altos se encuentran en los puntos de muestreo RMuyu-01 y RMuyu-02, se resalta este último punto ya que se encuentra a 1324,54 m abajo del primer punto de estación, donde los fosfatos que se encuentran en las aguas residuales provienen de: excreciones humanas y animales; uso de detergentes y productos de limpieza (Figueroa & Marino, 2004); la fuente de fosfatos que se encuentran en nuestras aguas residuales provienen básicamente de estas aseveraciones.

Para inhibir el crecimiento de algunas algas los niveles de fosfato deben ser menores a 0,05 mg/L (Figueroa & Marino, 2004).

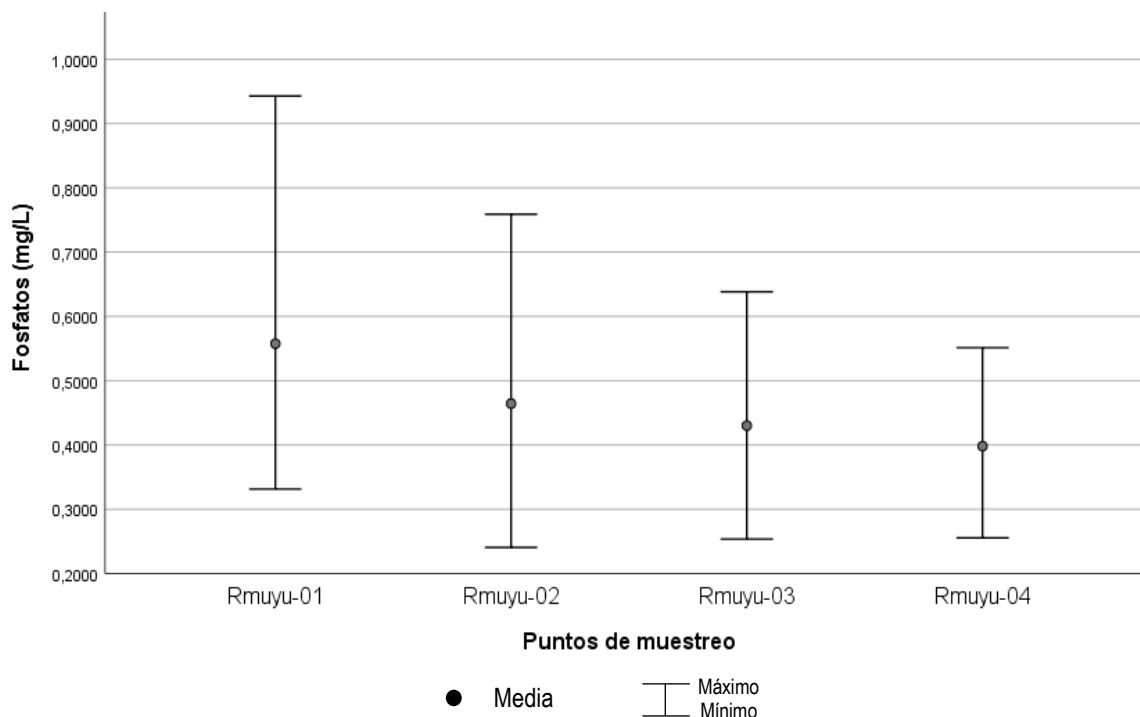
Tabla 22

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
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 18

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



4.9. Demanda Bioquímica de Oxígeno

Respecto al parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), los valores obtenidos para cada zona de muestreo durante la investigación se expresaron en valores promedio, y estos varían desde 22 mg DBO_5/L a 70 mg DBO_5/L , los valores corresponden al calculado en el periodo de noviembre de 2018 a abril de 2019. La prueba estadística (Kruskal - Wallis) aplicada manifiesta lo siguiente: Como la probabilidad de error (70,7 %) está por encima del nivel de significancia de 5 %. Por lo tanto, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) de las muestras estadísticamente no es distinto según los puntos de muestreo, es decir no hay diferencia significativa.

La DBO_5 es el parámetro más ampliamente utilizado para determinar el contenido de materia orgánica en una muestra de agua (Sierra, 2011), frente a este enunciado se puede observar en la figura un incremento gradual de la DBO_5 . El movimiento de las aguas en su discurrir reoxigena las aguas de modo que la carga contaminante vertida disminuye por biooxidación y por decantación, teniendo la concentración de oxígeno disuelto a recuperar la saturación a la vez que se degrada la materia microbiana (Gil, 2006), este proceso se nota claramente en el punto de muestreo Rmuyu-04 que es la

zona donde se une el río Muyurina con el río Niño Yucaes.

En general los cuatro puntos de muestreo alcanzan valores altos de DBO_5 , estos valores guardan mucha relación con los valores de coliformes fecales obtenidos en las mismas estaciones de muestreo.

Tabla 23

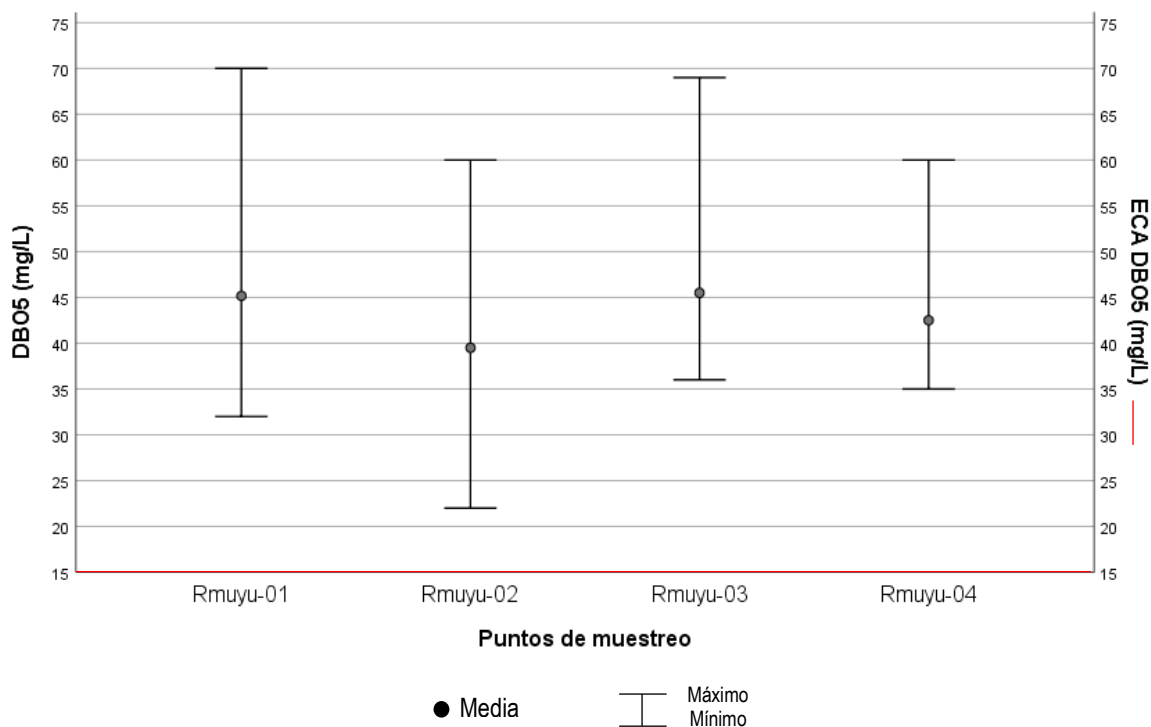
DBO_5 (mg/L) en los cuatro puntos de muestreo, ECA para agua categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM y datos estadísticos

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 DBO ₅ 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						

Es necesario mencionar que el segundo punto de estación (RMuyu-02) se encuentra a una distancia de 1324,54 m abajo del primer punto de estación, igualmente existe vertimiento de aguas residuales domésticas directamente al río en dicha zona de muestreo, tal como se observó en las salidas realizadas para la toma de muestra. Al respecto el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua respecto a este parámetro en la categoría 3 menciona que para el riego de vegetales y bebida de animales el valor debe ser menor o igual a 15 mg DBO_5 /L, en relación a ello las muestras de las aguas del río Muyurina no estarían cumpliendo con los ECA.

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



4.10. Coliformes totales

Respecto al parámetro de coliformes totales (NMP/100 mL), los valores obtenidos para cada zona de muestreo durante la investigación se expresaron como valores promedio, y estos varían desde Log NMP/100 mL igual a 2,3 equivalente a 200 NMP/100 mL en el punto de muestreo RMuyu-01 a Log NMP/100 mL igual a 4,95 equivalente a 90000 NMP/100mL en el punto de muestreo RMuyu-03, los valores corresponden al logaritmo promedio calculado en el periodo de noviembre de 2018 a abril de 2019. Como la probabilidad de error (87,9 %) de la prueba estadística (Kruskal - Wallis) aplicada está por encima del nivel de significancia de 5 %, podemos afirmar que el parámetro de coliformes fecales (NMP/100 mL) de las muestras estadísticamente no son diferentes respecto a los puntos de muestreo, es decir no hay diferencia significativa.

Los coliformes fecales se introducen al ambiente por las heces de humanos y animales, por lo que se deduce que los coliformes son de origen fecal (Torres F. J., 2009). En general, todas las zonas de muestreo existen incremento gradual hasta alcanzar un

valor muy alto de 90000 NMP/100mL, estos valores altos también se deben a la descarga de aguas residuales directamente al río Muyurina.

El Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua respecto a este parámetro en la categoría 3 menciona que para el riego no restringido el valor debe ser menor a 1000 NMP/100mL o equivalente a 3 log NMP/100mL y para riego restringido, el valor de 2000 NMP/100mL o equivalente a 3,30 log NMP/100mL y para la bebida de animales el valor debe ser menor a 1000 NMP/100mL o equivalente a 3 log NMP/100mL, en relación a ello las aguas de todas las zonas de muestreo en promedio no cumplen con los ECA establecidos.

Tabla 24

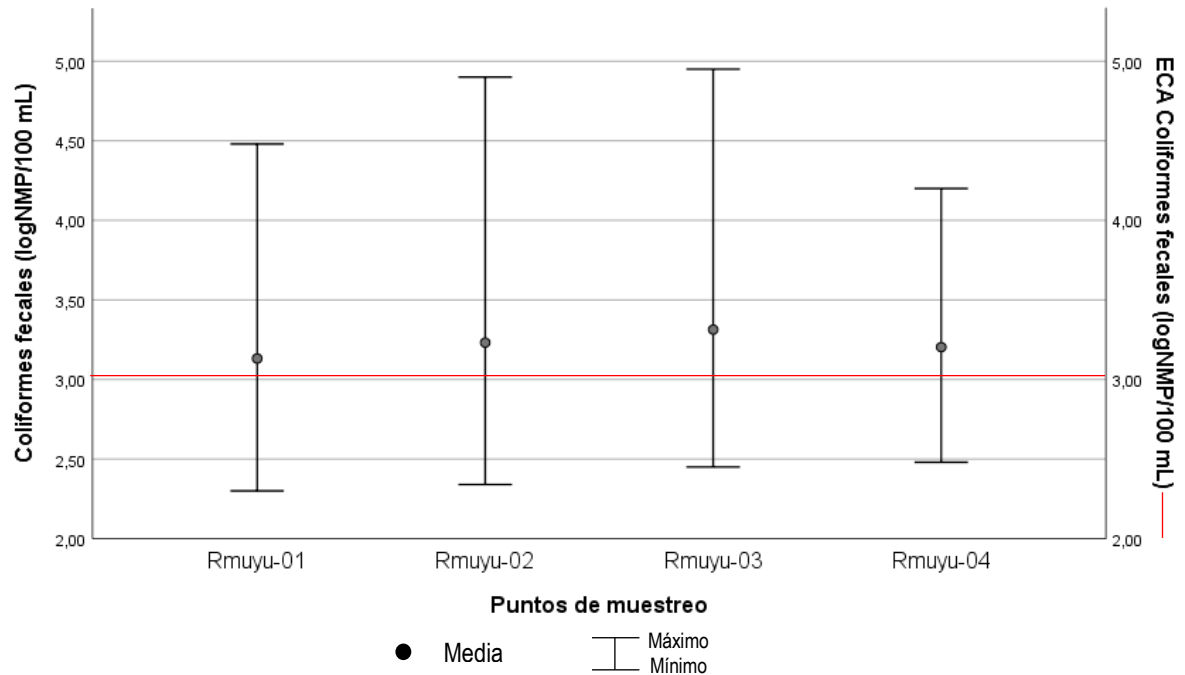
Coliformes totales (NMP/100 mL) en los cuatro puntos por cada muestreo, ECA para agua categoría 3 del D.S. N°004-2017-MINAM y datos estadísticos

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 termotolerantes 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.

Figura 20

Distribución de los valores mínimos, máximos, promedios de coliformes totales (log NMP/100 mL) de las aguas del río Muyurina en cuatro zonas de muestreo determinadas en seis meses y ECA para agua categoría 3



4.11. Índices de contaminación

A continuación, se mostrarán los Índices de contaminación por Mineralización (ICOMI), Índice de Contaminación Orgánica (ICOMO), Índice de Contaminación por pH (ICOpH), Índice de Contaminación de Sólidos Suspendidos (ICOSUS) e Índice de Contaminación por Trofia (ICOTRO) en el periodo de noviembre de 2018 a abril de 2019. Para los índices de contaminación se tomó en cuenta la siguiente tabla que esquematiza su clasificación o grado de contaminación del cuerpo de agua.

Tabla 25

Calificación de la calidad del agua según valores que tomen los índices de contaminación

Categorías de valores que puede tomar el índice	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,8-1,0	Muy alto	Rojo
0,6-0,8	Alto	Naranja
0,4-0,6	Medio	Amarillo
0,2-0,4	Bajo	Verde
0,0-0,2	Ninguno	Azul

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

4.11.1. Índices de contaminación por la mineralización

Teniendo tres parámetros fundamentales como lo son la conductividad, la dureza y la alcalinidad al obtener un valor de índice alto (cercano a uno) se podría pensar en el mismo sentido en valores altos para los parámetros analizando de esta manera un alto contenido de sales de magnesio y calcio que son responsables de un incremento de la dureza en un determinado cuerpo de agua, también es importante anotar que para que el fenómeno de mineralización en aguas está ampliamente ligado a la capacidad del cuerpo de agua que se estudia de disolver tanto cationes como aniones y esto se puede ver reflejado en la cantidad de sólidos disueltos.

Considerando los resultados de los ICOs en las diferentes temporadas, se puede verificar observar que el Índice de Contaminación por Mineralización aumenta en temporada de lluvias ya que la lluvia genera turbulencia en el cuerpo de agua y por ende la generación de sales es mayor. Este índice se expresa en desemejantes variables, entre las cuales se encuentran: conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, la dureza recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonatos y bicarbonatos (Cañas, 2010). Que asociadas a los análisis estadísticos descriptivos de estos parámetros podemos corroborar que durante la temporada de lluvias se obtuvieron mayores concentraciones y niveles que en temporada seca.

Según los cálculos efectuados se muestra el ICOMI en función de las fechas de muestreo en la siguiente figura.

Figura 21

Evaluación de la calidad del agua del río Muyurina mediante el índice de contaminación por mineralización.

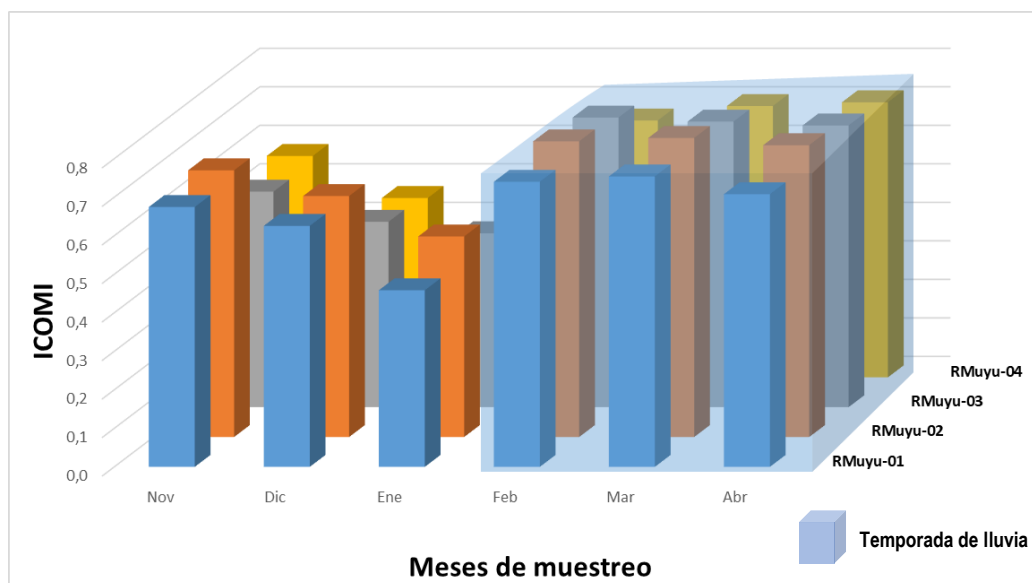


Tabla 26

ICOMI en los cuatro puntos de muestreo

N°	Punto de muestreo	ICOMI (promedio en estiaje)	ICOMI (promedio en lluvia)
1	RMuyu-01	0,5861	0,7338
2	RMuyu-02	0,6127	0,7671
3	RMuyu-03	0,4973	0,7413
4	RMuyu-04	0,4906	0,6949
Rango		0,4-0,6	0,6-0,8
Grado de contaminación		Media	Alta
Color		Amarillo	Naranja

En la tabla presentada según los resultados de ICOMI en las 4 estaciones de muestreo se tiene un rango de 0,4 a 0,6 para la época de estiaje, con una señal de alerta de color amarillo que se traduce en un grado de contaminación “Media”. Para la época de lluvia se tiene como valores promedio de ICOMI que se encuentran en el rango 0,6 a 0,8 se configura un grado de contaminación “Alta”.

4.11.2. Índices de contaminación por materia orgánica

El índice relaciona tres parámetros fisicoquímicos tales la DBO₅, Coliformes totales y

porcentaje de saturación de oxígeno, cabe mencionar que al aumentar los valores de DBO_5 disminuyeron los de oxígeno disuelto creando afectaciones para la vida y el medio acuático. Según cañas el aumento de estas concentraciones está sujeta a los contaminantes orgánicos que pueden tener origen agrícola, doméstico, industrial y de la erosión del suelo (Cañas, 2010). El resultado obtenido para la estación de muestreo RMuyu-01 registra el mayor valor de ICOMO en época de estiaje y RMuyu-02 en época de lluvia, es necesario mencionar que en esta segunda estación existen viviendas alrededor que vierten aguas de desagüe, también se observó que el establecimiento “viña chiquita” vierte su desagüe directamente al río Muyurina lo que configura una considerable carga de materia orgánica que está siendo vertida al río Muyurina.

Figura 22

Evaluación de la calidad del agua del río Muyurina mediante el índice de Contaminación Orgánica

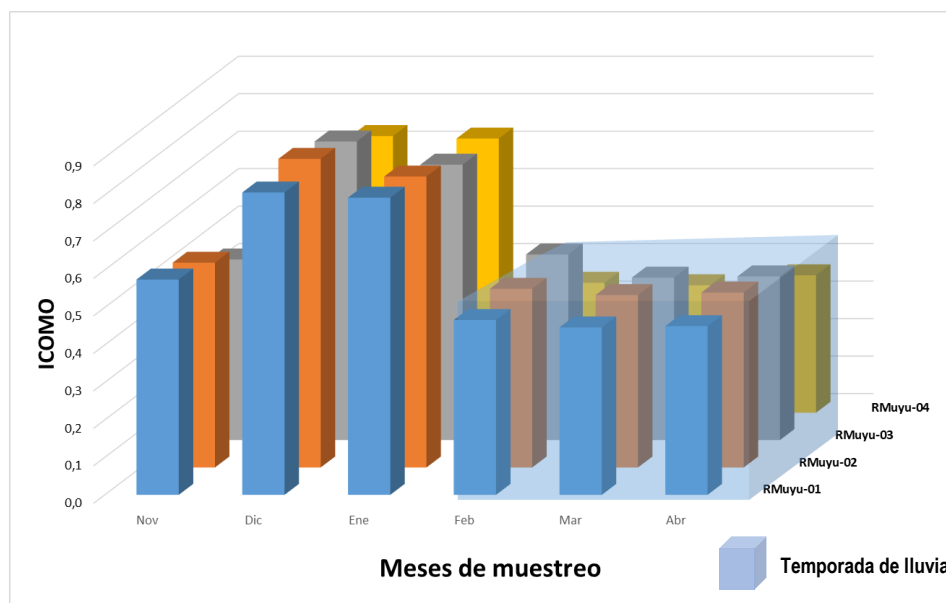


Tabla 27*ICOMO en los cuatro puntos de muestreo*

N°	Punto de muestreo	ICOMO (promedio en estiaje)	ICOMO (promedio en lluvia)
1	RMuyu-01	0,7246	0,4543
2	RMuyu-02	0,7152	0,4678
3	RMuyu-03	0,6711	0,4551
4	RMuyu-04	0,6824	0,3511
Rango		0,6-0,8	0,2-0,4
Grado de contaminación		Alta	Baja
Color		Naranja	Verde

En la tabla 27 según los resultados de ICOMO en las 4 estaciones de muestreo se tiene un rango de 0,6 a 0,8 para la época de estiaje, con una señal de alerta de color naranja que se traduce en un grado de contaminación “Alta”, por otra parte, para el caso de la época de lluvia se tiene un rango de 0,2 a 0,4 que refleja un grado de contaminación “Baja”. Los resultados son coherentes ya que en presencia de lluvia existe una mayor dispersión de los contaminantes en comparación con la época de estiaje.

4.11.3. Índices de contaminación por pH

Como ya es sabido la lectura del pH principalmente sirve para determinar si una sustancia resulta ser ácida, básica o dado el caso neutro, dentro de la normatividad (D.S. N° 004-2017-MINAM, para agua categoría 3) se establece el ECA entre 6,5 a 8,5.

En la figura se muestra la representación gráfica de la contaminación por pH, para las tres primeras (temporada seca) y las siguientes tres de temporada de lluvia por lo que podemos mencionar que en base a los cálculos efectuados para ambas temporadas, se tiene un rango de 0 a 0,2 que se configura a un grado de contaminación “Ninguna”, con una señal de alerta de color azul. Por lo tanto, podemos afirmar que el cuerpo de agua en evaluación se encuentra en condiciones óptimas según el ICOPH.

Figura 23

Evaluación de la calidad del agua del río Muyurina mediante el índice de Contaminación por pH

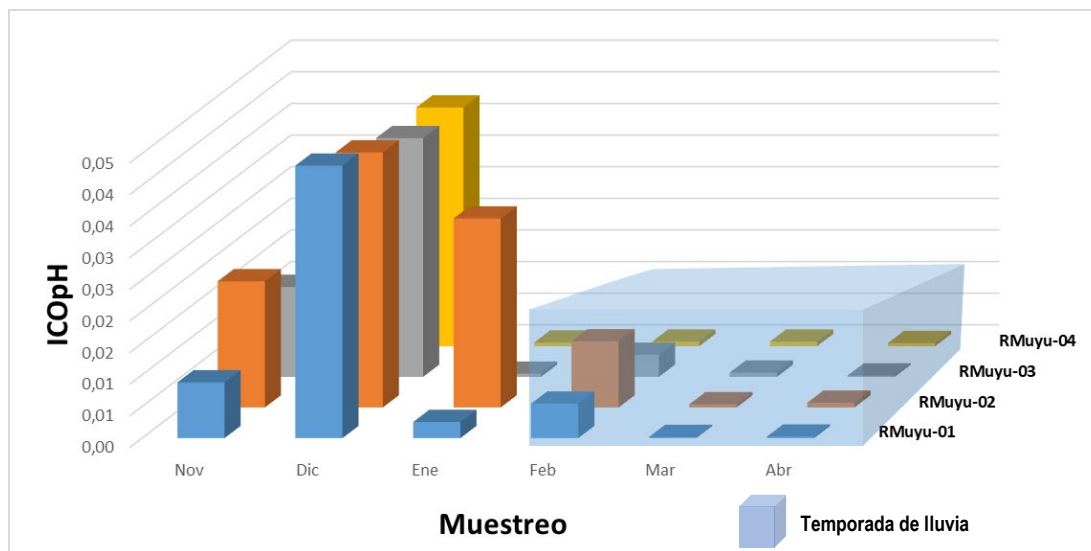


Tabla 28

ICOpH en los cuatro puntos de muestreo

N°	Punto de muestreo	ICOpH (promedio en estiaje)	ICOpH (promedio en lluvia)
1	RMuyu-01	0,0182	0,0020
2	RMuyu-02	0,0301	0,0039
3	RMuyu-03	0,0175	0,0015
4	RMuyu-04	0,0166	0,0006
Rango		0-0,2	0-0,2
Grado de contaminación		Ninguna	Ninguna
Color		Azul	Azul

4.11.4. Índices de contaminación por sólidos suspendidos

El índice de contaminación por sólidos suspendidos se determina solamente con la concentración de los sólidos suspendidos como su nombre lo indica (Cañas, 2010). Los cuales pueden ser de origen industrial o doméstico.

En la figura siguiente se aprecia una diferencia significativa entre el ICOSUS en temporada de lluvia y temporada seca, encontrándose mayores valores en temporada de lluvia que podría ser debido a la turbulencia que ocasiona la lluvia y genera sólidos

suspendidos y que a su vez son arrastrados con intensidad.

En base a los cálculos realizados respecto al ICOSUS se tiene un rango de 0,2 a 0,4 para la época de estiaje que refleja una señal de alerta “Verde” lo que corresponde a un grado de contaminación “Baja”, y en el caso de la época de lluvia se tiene un rango de 0,4 a 0,6 lo que significa un grado de contaminación “Media”.

Figura 24

Evaluación de la calidad del agua del río Muyurina mediante el índice de contaminación por sólidos suspendidos

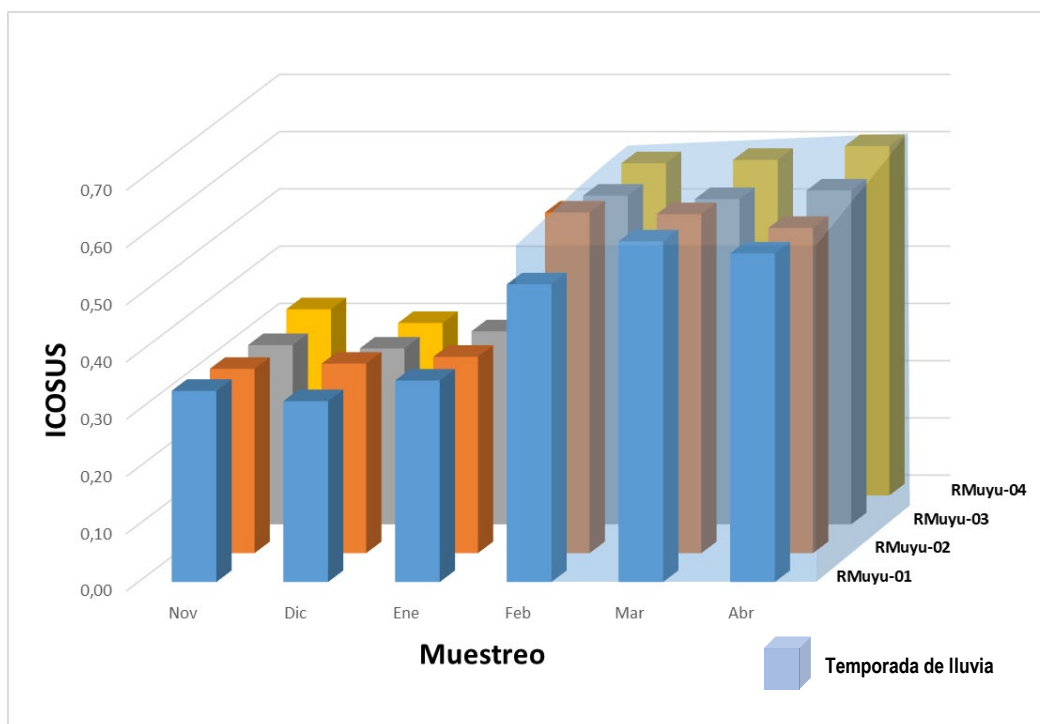


Tabla 29

ICOSUS en los cuatro puntos de muestreo

N°	Punto de muestreo	ICOSUS (promedio en estiaje)	ICOSUS (promedio en lluvia)
1	RMuyu-01	0,3340	0,5630
2	RMuyu-02	0,3320	0,5850
3	RMuyu-03	0,3190	0,5750
4	RMuyu-04	0,3220	0,5920
Rango		0,2-0,4	0,4-0,6
Grado de contaminación		Baja	Media
Color		Verde	Amarillo

4.11.5. Índice de contaminación por trofia

Determinar la contaminación por trofia se necesitan las concentraciones de fósforo para indicar los tipos de ortofosfatos que se presentan en la zona de estudio (Cañas, 2010).

Para poder entender de manera clara los resultados obtenidos en este índice de contaminación es muy importante hacer claridad a cerca de los conceptos que se generan por la concentración de fosforo en el agua, en primer lugar está la eutrofia que es un fenómeno que se genera cuando en un cuerpo de agua se presenta un exceso en la cantidad de nutrientes, este fenómeno genera que se incremente de manera descontrolada la existencia de plantas y organismos que al morir disminuyen la calidad del agua, en este mismo sentido la hipereutrofia es este fenómeno llevado al extremo, cuando sucede esto la cantidad de plantas y organismos que se presentan en el agua es tan alta que ni siquiera se permite el acceso de la luz dentro del cuerpo de agua, bajo estas condiciones la cantidad de materia orgánica se dispara haciendo que aumente proporcionalmente la Demanda Biológica de Oxígeno y a su vez disminuya el porcentaje de oxígeno generando unas condiciones de una alta contaminación y degradación de la calidad del agua (Recavarren, 2017).

Se calcula sobre la base de la concentración de Fósforo Total en mg/l.

- Oligotrofia < 0,01
- Mesotrofia 0,01-0,02
- Eutrofia 0,02-1,00
- Hipereutrofia >1,00

Tabla 30

ICOTRO en los cuatro puntos de muestreo

N°	Punto de muestreo	ICOTRO (promedio en estiaje)	ICOTRO (promedio en lluvia)
1	RMuyu-01	0,7792	0,3360
2	RMuyu-02	0,6678	0,2609
3	RMuyu-03	0,5937	0,2926
4	RMuyu-04	0,5068	0,2893
Rango		0,02-1,00	0,02-1,00
Condición		Eutrófico	Eutrófico

En base a los resultados que se reporta en la tabla anterior tenemos fenómeno de eutrofia correspondió a la aspecto de nutrientes orgánicos como lo son el nitrógeno y el fósforo usualmente procedentes de la actividad antrópica generada en el cauce principal del río Muyurina, sobre todo en la estación de muestreo RMuyu-01, seguido de RMuyu-02, cabe mencionar la existencia de viviendas próximas que vierten aguas de desagüe e inclusive el establecimiento “Viña Chiquita” vierte su desagüe directamente al río, estos vertimientos que podrían incluir alta carga de detergentes y desechos orgánicos, fertilizantes, y otros residuos ricos en fosfatos y nitratos (Vásquez, y otros, 2012). A continuación, presentamos un resumen de los ICOs evaluados en la presente investigación.

Tabla 31

Resumen de los ICOs del cuerpo de agua del río Muyurina en época de estiaje

Código de muestra	Referencia	ICOMI	ICOMO	ICOpH	ICOSUS	ICOTRO
RMuyu-01	Se consideró 100 m abajo desde la unión de los ríos Alameda y Huatatas.	0,5861	0,7246	0,0182	0,3340	Eutrófico
RMuyu-02	A una distancia de 1 324,54 m abajo del primer punto de estación, el cual es el Centro Poblado Viña Chiquita.	0,6127	0,7152	0,0301	0,3320	Eutrófico
RMuyu-03	Ubicada entre los Centros Poblados Rumichaca Baja y frente al Centro Poblado Viña Chiquita, a una distancia de 789,32 m abajo del segundo punto de estación.	0,4973	0,6711	0,0175	0,3190	Eutrófico
RMuyu-04	Se encuentra 100 metros antes del puente del río Muyurina, encuentro de los ríos Muyurina y Niño Yucaes. Se consideró a una distancia de 748,10 m abajo del tercer punto de estación.	0,4906	0,6824	0,0166	0,3220	Eutrófico
Rango		0,4-0,6	0,6-0,8	0-0,2	0,2-0,4	0,02-1,00
Grado de contaminación		Media	Alta	Ninguna	Baja	-
Color		Amarillo	Naranja	Azul	Verde	-

Tabla 32*Resumen de los ICOs del cuerpo de agua del río Muyurina en época de lluvia*

Código de muestra	Referencia	ICOMI	ICOMO	ICOpH	ICOSUS	ICOTRO
RMuyu-01	Se consideró 100 m abajo desde la unión de los ríos Alameda y Huatatas.	0,7338	0,4543	0,0020	0,5630	Eutrófico
RMuyu-02	A una distancia de 1 324,54 m abajo del primer punto de estación, el cual es el Centro Poblado Viña Chiquita.	0,7671	0,4678	0,0039	0,5850	Eutrófico
RMuyu-03	Ubicada entre los Centros Poblados Rumichaca Baja y frente al Centro Poblado Viña Chiquita, a una distancia de 789,32 m abajo del segundo punto de estación.	0,7413	0,4551	0,0015	0,5750	Eutrófico
RMuyu-04	Se encuentra 100 metros antes del puente del río Muyurina, encuentro de los ríos Muyurina y Niño Yucaes. Se consideró a una distancia de 748,10 m abajo del tercer punto de estación.	0,6949	0,3511	0,0006	0,5920	Eutrófico
Rango		0,6-0,8	0,2-0,4	0-0,2	0,4-0,6	0,02-1,00
Grado de contaminación		Alta	Baja	Ninguna	Media	-
Color		Naranja	Verde	Azul	Amarillo	-

4.12. Propuesta de mejora

Los resultados que obtuvimos reflejan Índices de Contaminación que van de ninguna, baja, media y alta y la importancia de este recurso sugiere plantear retos y soluciones que le proporcionen el máximo cuidado y atención y así garantizar el sustento para la conservación de la vida y abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas. En este sentido, es necesario identificar los puntos críticos por contaminación.

La identificación de los puntos más críticos de contaminación se realizó en base a los resultados de los análisis y a la evaluación de su calidad a través de los ICOs. Realizando la sumatoria de todos los índices al que corresponde para el punto.

Tabla 33*ICOs del cuerpo de agua del río Muyurina por cada estación de muestreo y época*

Código de muestra	Época de estiaje					Época de lluvia				
	ICOMI	ICOMO	ICOpH	ICOSUS	ICOTRO	ICOMI	ICOMO	ICOpH	ICOSUS	ICOTRO
RMuyu-01	0,5861	0,7246	0,0182	0,3340	Eutrófico	0,7338	0,4543	0,0020	0,5630	Eutrófico
RMuyu-02	0,6127	0,7152	0,0301	0,3320	Eutrófico	0,7671	0,4678	0,0039	0,5850	Eutrófico
RMuyu-03	0,4973	0,6711	0,0175	0,3190	Eutrófico	0,7413	0,4551	0,0015	0,5750	Eutrófico
RMuyu-04	0,4906	0,6824	0,0166	0,3220	Eutrófico	0,6949	0,3511	0,0006	0,5920	Eutrófico

En la tabla se aprecia los puntos críticos o contaminados, se evidencia que el punto más contaminado es el punto RMuyu-02, estación de muestreo que se encuentra a 1324,54 m abajo del primer punto de estación, seguidamente y con poca diferencia entre ellos se encuentra el punto RMuyu-01, RMuyu-03 y RMuyu-04, este último y menor valor de los ICOs es evidente porque se encuentra 100 metros antes del puente del río Muyurina, encuentro de los ríos Muyurina y Niño Yucaes que conlleva a una dilución de contaminantes y la autodepuración.

Teniendo en cuenta los principales problemas observados y analizados durante el trabajo de campo y el aporte de los resultados obtenidos en el trabajo a continuación presentamos propuestas para la mejora de la calidad de agua del río Muyurina.

- Las autoridades de la PTAR Totorá deberá mejorar en el tratamiento de aguas residuales, haciendo énfasis en el ICOMI y el ICOMO ya que reportan un grado de contaminación alta.
- Fomentar buenos hábitos e implementación de prácticas amigables con el recurso hídrico en los usuarios.
- Bajo el escenario que el establecimiento “viña chiquita” vierte su desagüe directamente al río, estos vertimientos que podrían incluir alta carga de detergentes, desechos orgánicos y otros residuos ricos en fosfatos y nitratos que desencadenan un ICOTRO alto se le exigiría la disposición de sus residuos y gestión de sus efluentes de manera adecuada.

De acuerdo a la Ley de Recursos Hídricos (LRH), para realizar algún tipo de vertimiento (de carácter industrial, doméstica o municipal) es necesario contar con un permiso o autorización de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos de la ANA ya que el Reglamento de autorización de vertimientos de la ANA, aprobado con

Resolución Jefatural N° 224-2013-ANA, y su modificatoria, establece condiciones previas que debe cumplir el efluente residual tratado antes de ser vertido sobre el cuerpo receptor, de los cuales resaltaremos algunos puntos: a. No se transgredan los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua) en el cuerpo receptor, según las disposiciones que dicte el MINAM para su implementación, b. No se cause perjuicio a otro uso en cantidad o calidad del agua.

c. No se afecte la conservación del ambiente acuático.

- Realizar campañas de concientización y educación ambiental a la población cercana a este cuerpo hídrico, con el fin de lograr actitudes positivas hacia la conservación del agua. Ante el ICOTRO se fomentaría el uso de detergentes sin fosfatos.

Para poder verificar el impacto de las propuestas de mejora es importante efectuar monitoreos periódicos, esta actividad permite la detección temprana de cambios en la calidad del recurso, conocer el estado en el que se encuentra el recurso hídrico del río Muyurina a través de metodologías y el uso de indicadores que nos permitan determinar la calidad del agua y su grado de contaminación.

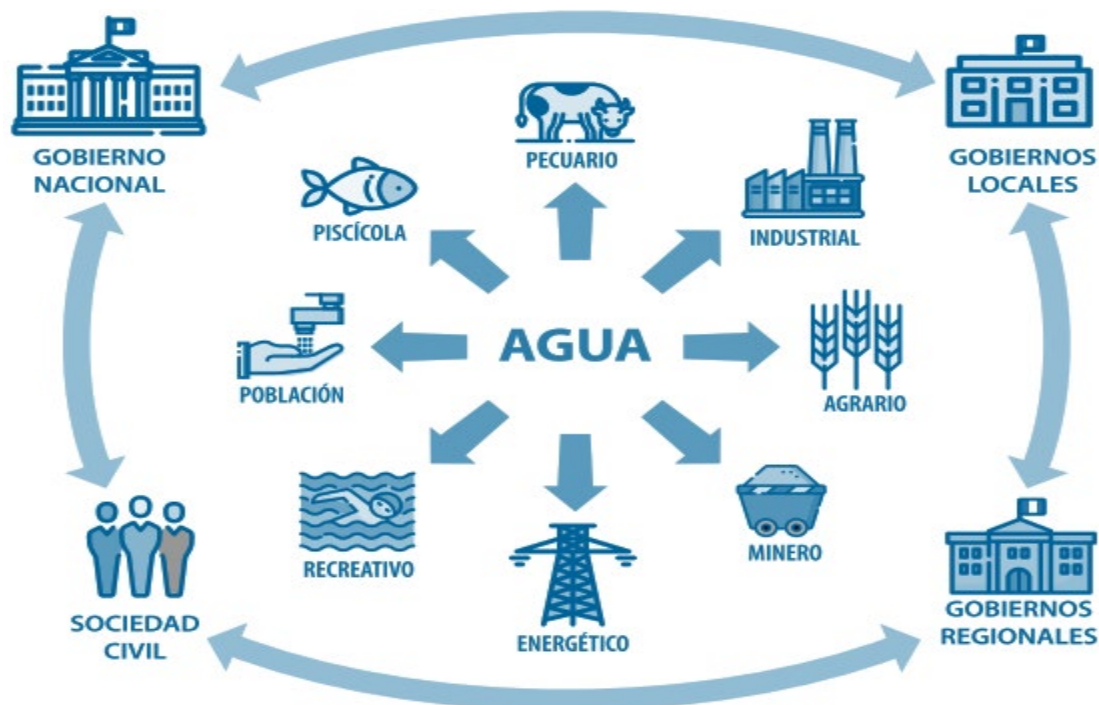
Las organizaciones ambientales deben realizar una caracterización de la variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua de las fuentes superficiales, que permita establecer los usos del recurso más adecuados, así como determinar la capacidad asimilativa de los cuerpos de agua para mantener variables de calidad del agua por debajo de momentos de concentración lícitos según las normas.

De no ejecutarse acciones preventivas, de monitoreo, de supervisión y de control, la contaminación del agua generará repercusiones graves, como el incremento de diferentes costos asociados con las condiciones inadecuadas de abastecimiento de agua potable y saneamiento, salubridad, salud, seguridad alimentaria e insostenible desarrollo económico.

En nuestro país, en la gestión del recurso hídrico intervienen múltiples actores en torno a su uso y aprovechamiento. En el aspecto político van desde las entidades del gobierno nacional, regional y local hasta sectores pertenecientes a las diferentes actividades productivas (agrario, industrial, minero, petroleros, poblacional, energético, recreativo, entre otros). Recayendo sobre la sociedad civil un rol importante para vigilar la adecuada gestión del agua.

Figura 25

La gestión del agua e instituciones involucradas

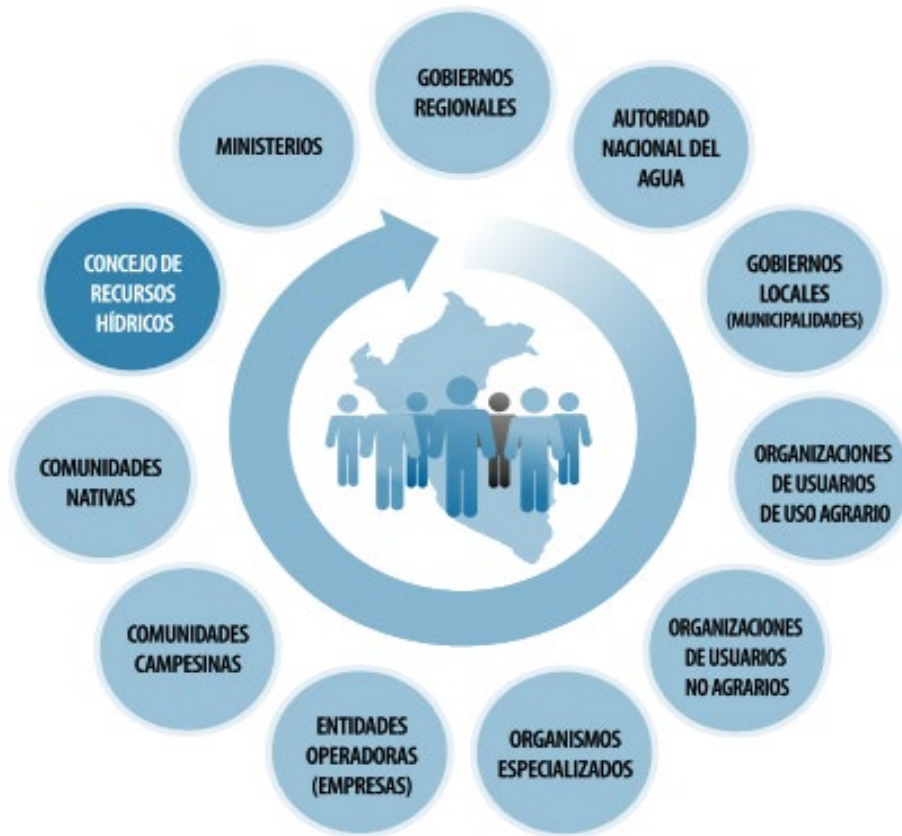


Fuente: (ANA, 2016)

La Ley de Recursos Hídricos (LRH) ha establecido la planificación y aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos, por ello, los actores involucrados deben organizarse en un espacio de coordinación denominado Concejo de Recursos Hídricos, como se observa en la siguiente figura.

Figura 26

Espacio de coordinación de la gestión del recurso hídrico



Asimismo, es necesario comentar que en nuestro país existe una Resolución Jefatural N° 042-2016-ANA del 16 de febrero de 2016 sobre estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos (ver anexo 7) de la cual resaltaremos la línea de acción 2 referida a la protección de la calidad de los Recursos Hídricos que incluye lo que comentamos líneas arriba respecto a realizar monitoreos, controles y vigilancia de la calidad de los recursos hídricos. Al contar con una estrategia de dimensión nacional, ahora lo que toca es hacerla efectiva mediante las autoridades correspondientes.

Figura 27

Línea de acción 2: protección de la calidad de los recursos hídricos

Acción estratégica	Proteger la calidad de los recursos hídricos, los ecosistemas acuáticos y los bienes naturales asociados a esta.
Tareas	
◆ Implementar el Plan Nacional de Vigilancia para la recuperación y protección de la calidad de los recursos hídricos. ◆ Implementar herramientas e instrumentos económicos para asegurar una gestión integral y el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico como servicio ecosistémico en las unidades hidrográficas. ◆ Revisar y actualizar la clasificación de los cuerpos de agua natural continental y marino y los Estándares de Calidad Ambiental para Agua de acuerdo con la realidad de las cuencas. ◆ Establecer e implementar laboratorios descentralizados de referencia para el análisis de la calidad del agua. ◆ Generar y/o fortalecer capacidades a nivel nacional en temas relacionados con el tratamiento de aguas residuales mediante tecnologías sostenibles y la gestión de calidad de los recursos hídricos. ◆ Realizar el monitoreo, control y vigilancia de la calidad de los recursos hídricos de las cuencas transfronterizas. ◆ Establecer la vulnerabilidad de la calidad de agua en las unidades hidrográficas.	

Fuente: (ANA, 2016)

En base a línea de acción 2: Protección de la calidad de los Recursos Hídricos a continuación presentamos su respectivo plan de acción que hace referencia al siguiente resultado: “la protección de la calidad de los recursos hídricos se desarrolla y se afianza”, debemos tener en cuenta que este plan de acción configura metas de 2022 a 2025 con sus respectivas tareas, actores, indicadores y resultados.

Figura 28

Plan de acción de la línea de acción 2: Protección de la calidad de los Recursos Hídricos

ACCIÓN ESTRATÉGICA	TAREAS	METAS		ACTORES
		2016-2021	2022-2025	
Proteger y conservar las fuentes naturales de agua, los ecosistemas acuáticos y los bienes naturales asociados a esta.	Implementar el Plan Nacional de Vigilancia para la recuperación y protección de la calidad de los recursos hídricos.	Plan de vigilancia implementado al 100 % en las cuencas piloto y 50 % en las unidades hidrográficas de la vertiente del Titicaca, 30 % en las vertientes del Pacífico y 10 % en la vertiente del Amazonas. Monitoreos de calidad de agua superficial y subterránea se desarrollan al 100 % en las cuencas piloto y 50 % en las unidades hidrográficas de la vertiente del Titicaca, 30 % en las vertientes del Pacífico y 10 % en la vertiente del Amazonas.	Plan de vigilancia implementado al 100 % en las unidades hidrográficas de la vertiente del Titicaca, 100 % en la vertiente del Pacífico y 50 % de en la vertiente del Amazonas. Monitoreos de calidad de agua en agua superficial y subterránea se desarrollan al 100 % en las unidades hidrográficas de la vertiente del Titicaca, 100 % en la vertiente del Pacífico y 50 % en la vertiente del Amazonas.	Responsables ANA (AAA, ALA, CRHC) Participantes Sectores
	Implementar herramientas e instrumentos económicos para asegurar una gestión integral y el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico como servicio ecosistémico en las unidades hidrográficas.	Mecanismos de compensación implementados en cuencas piloto seleccionadas; así como de manera gradual al 10 % en las unidades hidrográficas de las vertientes del Pacífico y Amazonas y 20 % en las U.H. del Titicaca en coordinación con sectores y GL.	Mecanismos de compensación implementados de manera gradual al 30 % en las unidades hidrográficas de las vertientes del Pacífico y Amazonas y 50 % en las U.H. del Titicaca en coordinación con sectores y GL.	Responsables MINAM y ANA(AAA, ALA, CRHC) Participantes MINAGRI, GR, GL, EPS y agencias de cooperación
	Revisar y actualizar la clasificación de los cuerpos de agua natural continental y marino; y los Estándares de Calidad Ambiental – Agua de acuerdo con la realidad de las cuencas.	60 % de los cuerpos naturales de agua con clasificación actualizada. ECA-Agua establecidos sobre la base de la sensibilidad específica de los cuerpos naturales de agua.	90 % de los cuerpos naturales de agua con clasificación actualizada. ECA-Agua actualizados sobre la base de información de calidad de agua de las cuencas	Responsables MINAM y ANA(AAA, ALA, CRHC) Participantes Sectores
	Establecer e implementar laboratorios descentralizados de referencia para el análisis de la calidad del agua.	60 % de implementación de laboratorios de referencia	100 % de implementación de Laboratorios de referencia.	Responsables ANA (AAA y ALA) Participantes
Preservar y conservar las fuentes naturales de agua, los ecosistemas acuáticos y los bienes naturales asociados a esta.	Generar y/o fortalecer capacidades a nivel nacional en temas relacionados con el tratamiento de aguas residuales con tecnologías sostenibles y la gestión de calidad de los recursos hídricos.	1000 profesionales y técnicos especializados en gestión de calidad de los recursos hídricos y de tratamiento de aguas residuales.	2000 profesionales y técnicos especializados en gestión de calidad de los recursos hídricos y de tratamiento de aguas residuales.	Responsables ANA (AAA y ALA) Participantes GR y otros sectores
	Realizar el monitoreo, control y vigilancia de la calidad de los recursos hídricos de las cuencas transfronterizas.	Elaboración consensuada de planes de monitoreo, control y vigilancia del 40 % de la cuencas transfronterizas. Implementación del 25 % de los planes de monitoreo, control y vigilancia en cuencas transfronterizas.	Elaboración consensuada de planes de monitoreo, control y vigilancia del 80 % de la cuencas transfronterizas. Implementación del 50 % de los planes de monitoreo, control y vigilancia en cuencas transfronterizas.	Responsables MINAM, RREE, ANA, FEMA, GORE, y equivalentes extranjeros Participantes GL, Organizaciones Civiles, Organizaciones de Usuarios.
	Establecer la vulnerabilidad de la calidad de agua en las unidades hidrográficas.	Elaboración de modelos de vulnerabilidad de la calidad de agua en el 50 % de las unidades hidrográficas del Titicaca y 20 % de las unidades hidrográficas del Pacífico.	Elaboración de modelos de vulnerabilidad de la calidad de agua en el 100 % de las unidades hidrográficas del Titicaca y 40 % de las unidades hidrográficas del Pacífico.	Responsables ANA, INDECI y CENEPRED Participantes GR, GL y ONG

Nota. CRHC (Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca), AAA (Autoridad Administrativa del Agua), ALA (Autoridad Local del Agua), ANA (Autoridad Nacional del Agua), FEMA (Fiscalías Especializadas en Materia Ambiental), CENEPRED (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres), INDECI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual), EPS (Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento), ONG (Organizaciones no gubernamentales)

Fuente: (ANA, 2016)

A continuación, presentamos los indicadores y resultado del plan de acción de la línea de acción 2: Protección de la calidad de los Recursos Hídricos de los cuales

resaltaremos los siguientes indicadores y su respectivo resultado.

Numero de monitoreos en cuencas, numero de planes de control y vigilancia y número de convenios nacionales e internacionales para la recuperación de la calidad del recurso hídrico y cuyo resultado es cuencas en proceso de recuperación.

Figura 29

Indicadores y resultado del plan de acción de la línea de acción 2: Protección de la calidad de los Recursos Hídricos

INDICADOR (ES)	RESULTADO
Porcentaje de cobertura anual del Plan por unidades hidrográficas. Número de unidades hidrográficas con red de monitoreo aprobada. Número de parámetros críticos por unidades hidrográficas. Número de convenios suscritos para la recuperación de las unidades hidrográficas. Porcentaje de recuperación por unidad hidrográfica. Número de instrumentos de gestión que fortalezcan el Plan nacional.	Unidades hidrográficas en proceso de recuperación de la calidad de sus recursos hídricos
Identificación de experiencias en aplicación de servicios ecosistémicos. Número de herramientas e instrumentos económicos establecidos por unidades hidrográficas. Número de unidades hidrográficas que realizan una gestión integral con aprovechamiento sostenible del recurso hídrico. Porcentaje de organizaciones de usuarios que implementan instrumentos económicos.	Gestión integral y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico en unidades hidrográficas.
Número de unidades hidrográficas caracterizadas por la calidad de los RR. HH. Número de cuerpos naturales de agua clasificados. Número de unidades hidrográficas caracterizados con ECA-Agua actualizados. Número de unidades hidrográficas con ZEE.	Cuerpos naturales de agua identificados y clasificados ECA-Agua revisados y actualizados de acuerdo con la realidad de las cuencas.
Porcentaje de avance e implementación del laboratorio. Número de convenios para la implementación del laboratorio.	Contar con un laboratorio nacional y descentralizado de referencia
Número de usuarios capacitados en gestión de calidad de los recursos hídricos y tratamiento de aguas residuales. Número de alianzas estratégicas con instituciones académicas nacionales e internacionales. Número de instrumentos elaborados y socializados relacionados con temas de tratamiento de aguas residuales o gestión. Número de eventos realizados en temas relacionados al tratamiento de aguas residuales y la gestión de calidad de los recursos hídricos. Número de profesionales especializados en gestión de calidad de los recursos hídricos y tratamiento de aguas residuales por unidad hidrográfica. Número de proyectos formulados en temas relacionados con el tratamiento de aguas residuales y la gestión de calidad de los recursos hídricos por unidad hidrográfica.	Población con capacidades en gestión de la calidad de los recursos hídricos y tratamiento de aguas residuales
Número de monitoreos en cuencas transfronterizas. Número de planes de control y vigilancia en cuencas transfronterizas. Número de convenios nacionales e internacionales para la recuperación de la calidad del recurso hídrico en cuencas transfronterizas.	Cuencas transfronterizas en proceso de recuperación
Número de unidades hidrográficas con evaluación de riesgos vinculados a la calidad de agua. Número de planes de gestión de riesgos.	Unidades hidrográficas del Títicaca y del Pacífico

Fuente: (ANA, 2016)

CONCLUSIONES

1. Se consideró cuatro puntos de muestreos en el recorrido del río Muyurina, haciendo un total de 24 muestreos. Los Índices de Contaminación del Agua (ICOs) que se consideraron fueron: Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI) en relación a los parámetros conductividad, dureza y alcalinidad, Índice de Contaminación Orgánica (ICOMO) en relación a los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno, % oxígeno disuelto y coliformes totales; Índice de Contaminación por pH (ICOpH) en relación al parámetro pH, Índice de Contaminación de Sólidos Suspendidos (ICOSUS) en relación al parámetro sólidos suspendidos, Índice de Contaminación por Trofia (ICOTRO) en relación al parámetro fósforo total.
2. Los valores de los ICOs del agua del río Muyurina se encuentran en el rango de 0,0 a 0,8 tanto en época de estiaje y época de lluvia.
3. Los valores de los Índice de Contaminación de Agua (ICOs) se configuran en una escala de 0 a 1 que refleja el nivel de contaminación “Ninguna” (>0,2 a 0,4); “Baja” (>0,4 a 0,6); “Media” (>0,6 a 0,8); “Alta” (>0,8 a 1). Por lo tanto, se tiene un ICOMI de grado de contaminación “Media” tomando el valor alto de 0,6127 en el punto de muestreo RMuyu-02 y el valor bajo de 0,4906 en el punto de muestreo RMuyu-04 en la época de estiaje y tomando el valor alto de 0,7671 en el punto de muestreo RMuyu-02 y el valor bajo de 0,6949 en el punto de muestreo RMuyu-04 en la época de lluvia “Alta”, ICOMO que reporta contaminación “Alta” tomando el valor alto de 0,7246 en el punto de muestreo RMuyu-01 y el valor bajo de 0,6711 en el punto de muestreo RMuyu-03 en época de estiaje y “Baja” tomando el valor alto de 0,4678 en el punto de muestreo RMuyu-02 y el valor bajo de 0,3511 en el punto de muestreo RMuyu-04 en época de lluvia respectivamente, ICOpH de grado de contaminación “Ninguna” tanto para época de estiaje y lluvia, ICOSUS de grado de contaminación “Baja” tomando el valor alto de 0,3340 en el punto de muestreo RMuyu-01 y el valor bajo de 0,3190 en el punto de muestreo RMuyu-03 en época de estiaje y “Media” tomando el valor alto de 0,5920 en el punto de muestreo RMuyu-04 y el valor bajo de 0,5630 en el punto de muestreo RMuyu-01 en época de lluvia y un ICOTRO que registra “Eutrófico” para ambas épocas de estiaje y lluvia.
4. La propuesta de mejora de los ICOs del río Muyurina engloba acciones a nivel local involucrando a los pobladores aledaños y plan de acción de las autoridades correspondientes respecto a la protección de la calidad de los recursos hídricos.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere seguir empleando los índices de contaminación como los usados en esta investigación para caracterizar las aguas superficiales, ya que permiten diferenciar los procesos físicos y antrópicos que ejercen mayor presión sobre la calidad del agua, y responden con menor número de variables la caracterización de las aguas superficiales permitiendo establecer los usos del recurso más adecuados.
2. Con respecto a la condición actual del río Muyurina se recomienda realizar un estudio de impacto ambiental teniendo en cuenta el uso del recurso que está teniendo el río a lo largo de la cuenca ya que las condiciones de contaminación han aumentado a través del tiempo puede que la fuente no sea apta para realizar algunas actividades que actualmente tiene.
3. Se recomienda que la Autoridad Local del agua (ALA) como responsable de monitorear la calidad del agua en el marco de lo establecido en la Ley, efectúe supervisiones y evaluaciones de la calidad del agua del río Muyurina para consolidar información que conlleven a una adecuada toma de acción. Por ejemplo, es de vital importancia prestar atención a la cantidad orgánica que está siendo vertida en la estación de muestreo Rmuyu-02 puesto que si se sigue contaminado los niveles de oxígeno disuelto podrían seguir disminuyendo hasta llegar a un grado de contaminación más alto y afectar la vida acuática.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguayo, C. (2015). *Determinación de la acumulación de los metales pesados plomo, cadmio y cromo en la planta Pistia stratiotes conocida como lechuga de agua [Tesis de grado, Universidad Icesi]*. Repositorio Institucional. Obtenido de https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/78790/1/TG01084.pdf
- Alcarraz, T. (2011). *Análisis Químico Instrumental*. Ayacucho: Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga.
- Alvarez, R., & Kuri-Morales, P. A. (2018). *Salud Pública y medicina preventiva* (Quinta ed.). Manual moderno.
- ANA. (2016). *Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos*. Ministerio de Agricultura y Riego. Obtenido de Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos: <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/210/ANA0000026.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aquino, P. (2017). *Calidad del agua en el Perú. Retos y aportes para una gestión en aguas residuales (Derecho, Ambiente y Recursos Naturales)* (Primera ed.). (A. y. Derecho, Ed.) Lima: Sonimágenes del Perú SCRL. Obtenido de <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2806>
- Arellano, J., & Guzman, J. (2011). *Ingeniería Ambiental* (Primera ed.). México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.
- Aronés, E., Veliz, R., & Palomino, Y. (2017). *Evaluación de la calidad del agua del río Huatatas, aplicando el ICA, región Ayacucho*. Ayacucho, Perú: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2016). *Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima.
- Baird, R. B., Eaton, A. D., & Rice, E. W. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23 ed.). Washington D.C.: American Water Works Association.
- Beita-Sandí, W., & Barahona-Palomo, M. (2011). Fisico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica. *UNED Research Journal*, 2(2), 157-179. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=515651982004>
- Bush, L. M. (2020). *Introducción a las bacterias gram negativas*. Florida Atlantic University. Obtenido de <https://www.msdmanuals.com/es-pe/hogar/infecciones/infecciones-bacterianas-bacterias-gramnegativas/introducci%C3%B3n-a-las-bacterias-gram-negativas>
- Cabildo, M., Cornago, M., Escolástico, C., Esteban, S., Concepción, L., & Sanz, D. (2013). *Bases químicas del medio ambiente*. Madrid: UNED.
- Calsín, K. (2016). *Calidad física, química y bacteriológica de aguas subterráneas de consumo humano en el sector de Taparachi III de la ciudad de Juliaca, Puno -*

2016. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Campillo, N. (2011). *Universidad de Murcia*. Obtenido de Introducción al análisis volumétrico: <https://www.um.es/documents/4874468/11830096/tema-4.pdf/0ef11661-8d05-43e3-8edb-10b8bc21351b>
- Campos, C., Cárdenas, M., & Guerrero, A. (2008). Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de aguas de la sabana de Bogotá (Colombia). *Universitas Scientiarum*, 13(2), 103-108. Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/AppData/Local/Temp/adminpujojs,+Vol+13+(2)+p+103-108.pdf
- Cañas, J. S. (2010). *Determinación y evaluación de índices de contaminación (Icos) en cuerpos de agua*. Bogotá: Makro Construcciones LTDA.
- Chavarro, A. G., & Gelvez, E. J. (2016). Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo. *Mutis*, 6(2), 19-31. Obtenido de <https://doi.org/10.21789/22561498.1148>
- Chavéz, J. (2013). *El análisis del pH, su importancia, interpretación en la calidad del agua*. SLA Asociado. Obtenido de <https://abccam.com.br/wp-content/uploads/2016/12/II-CURSO-DE-AGUAS-3-NATAL-2013-1.pdf>
- COFO. (2011). *Cofourense.com*. Obtenido de Interpretación de resultado de análisis de aguas de consumo humano : https://www.cofourense.com/antigua/index.php?option=com_content&view=article&id=104%20:interpretacion-de-resultado-de-analisis-de-aguas-de
- Coluccio, E. (15 de Julio de 2021). *Temperatura*. Obtenido de Concepto.de: <https://concepto.de/temperatura/>
- 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>
- Cumaca, C., & Fernández, R. (2007). Los macroinvertebrados como Indicadores de calidad de las aguas. *Atención primaria*, 23(3), 480–488.
- 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>
- Díaz, I., Quintero, H., Lozano, Y., Fonseca, L., & Valdes, D. (2017). Ríos Tejo y Chiquito: Evaluación de los ICO's dentro la estructura urbana de Ocaña, Norte De Santander. *INGENIO UFPSO*, 13, 213-221. doi:<https://doi.org/10.22463/2011642X.2150>
- Dirección General de Salud [DIGESA]. (2017). *Parámetros organolépticos y físicoquímico*. GESTA AGUA. Obtenido de http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO_DE_USO_1.pdf

- Dzul, M. (2013). *Sistema de universidad virtual*. Obtenido de Aplicación básica de los métodos científicos. Diseño no experimental: <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/14902>
- Etecé. (5 de Agosto de 2021). *Concepto.de*. (E. Equipo editorial, Editor) Obtenido de Investigación no experimental: <https://concepto.de/investigacion-no-experimental/>
- Fernández-Santisteban, M. T. (2017). Determinación de coliformes totales y fecales en aguas de uso tecnológico para las centrifugas. *ICIDCA*, 51(2), 70-73. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223154251011>
- Figueroa, J., & Marino, M. (2004). *Química física del ambiente y de los procesos medioambientales*. España: REVERTE.
- Fundación Nacional de Salud [FUNASA]. (2013). *Manual práctico de análisis de agua* (Cuarta ed.). (C. d. Social, Ed.) Brasilia: FUNASA. Obtenido de https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_practico_analisis_agua_4_ed.pdf
- Gianoli, A., Hung, A., & Shiva, C. (Julio de 2019). Relación entre coliformes totales y termotolerantes con factores fisicoquímicos del agua en seis playas de la bahía de Sechura-Piura 2016-2017. *Salud y Tecnología*, 6(2), 62-71. doi:<https://doi.org/10.20453/stv.v6i2.3460>
- Gil, M. (2006). *Depuración de aguas residuales: modelización de procesos de lodos activos* (Primera ed.). España: Grafica/85 S.A.
- Giraldo, G. I. (1995). *Manual de análisis de aguas*. Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/50540/1/manualdeanalisdeaguas.pdf>
- GLOBE. (2012). *Protocolo de conductividad eléctrica*. Obtenido de http://www.globeargentina.org/guia_del_maestro_web/hidrologia/protconductividadelectrica.pdf
- 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.
- González, G. R. (2012). *Microbiología del Agua. Conceptos y aplicaciones* (Primera ed.). Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Grupo de Estudio Técnico Ambiental [GESTA AGUA]. (2017). *Parámetros Organolépticos y Físicoquímicos*. Lima: Dirección General de Salud .
- Holzner, K. (2012). *Informe Técnico N° 018-2012-ANA-DGCRH/KH. Propuesta de modificación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua* . ANA.
- Huertas, J. A. (10 de Agosto de 2015). Propuesta para establecer un sistema de vigilancia de contaminantes ambientales en Colombia. *Biomédica. Revista del Instituto Nacional de Salud*, 35. doi:<https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2449>
- Infoagro. (10 de Diciembre de 2013). *Conductividad y dureza del agua*. Obtenido de Infoagro.com: https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_conductividad_electrica.as

p?k=53

- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2018). *Estadísticas Ambientales*. Lima: INEI. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/estadisticas-ambientales.pdf>
- Internacional Organization for Standardization [ISO]. (2012). *Water Quality Sampling. Part 3: Preservation and handling of water samples*. Ginebra, Suiza: International Standard ISO 5667-3 .
- Julián-Soto, F. (Junio de 2010). La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 11(2), 167-177. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432010000200004
- Khan Academy. (8 de Julio de 2015). *khanacademy.org*. Obtenido de Introducción a las propiedades del agua: <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/chemistry-of-life/structure-of-water-and-hydrogen-bonding/a/hydrogen-bonding-in-water>
- 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>
- Kowalkowski, T., Zbytniewski, R., Szpejna, J., & Buszewski, B. (2006). Application of chemometrics in river water classification. *Water Research*, 40(4), 744–752. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.11.042>
- Laura, E. (2009). *Control de calidad de los alimentos*. Puno: U. N. Altiplano.
- Letterman, R. D. (2002). *Calidad y tratamiento del agua. Manual de suministros de agua comunitaria* (Quinta ed.). España: Mc Graw-Hill.
- López, C. S. (2012). *Protocolos de prácticas de Microbiología Ambiental*. Tingo María. Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- López, L. A., & Cruz, F. A. (2019). *Calidad físico-química y bacteriológica de aguas superficiales, pozos artesianos y pozos rústicos del centro poblado de Zungarococha (Iquitos-Perú) [Tesis de grado, Universidad Nacional De La Amazonía Peruana]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unapikitos.edu.pe/handle/20.500.12737/6758>
- Mackenzie, D., & Cornwell, D. (2012). *Introduction to Environmental Engineering* (Fifth ed.). McGraw-Hill Education.
- 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. (2010). *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas*. Cordova:

- Empresa Municipal de Aguas de Córdoba S.A. (EMACSA).
- Metcalf & Eddy, Inc. (2013). *Wastewater engineering, treatment and reuse recovery* (Quinta ed.). McGraw-Hill.
- Microlab. (22 de Noviembre de 2016). *Análisis de alcalinidad total*. Obtenido de Microlabindustrial.com:
<https://www.microlabindustrial.com/parametros/propiedades-agregadas/58/alcalinidad-total>
- Mihelcic, J., & Zimmerman, J. (2011). *Ingeniería Ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño* (Primera ed.). México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- 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>
- MINSA . (2012). *Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano. D. S. N° 031- 2010-SA*. Lima: Direccion General de Salud.
- Monge, M. A. (24 de Abril de 2017). *Interpretación de un análisis de agua para riego*. Obtenido de [lagua.es: https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-agua-riego](https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-agua-riego)
- Montalvo, J. F., García-Ramil, I. d., Almeida, M., Betanzos, A., & García, N. (Diciembre de 2014). Modelación de la eutroficación e índice de calidad del agua en algunas bahías del archipiélago Sabana Camagüey. *Tecnología Química*, 34(3), 307-323. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852014000300009
- Monte, I. (2016). *Agua, pH y equilibrio químico* (Primera ed.). México: Subsecretaría de Educación Media Superior [SEMS]. Obtenido de Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Phosphorus: <http://www.sems.gob.mx/work/models/sems/Resource/12235/5/images/agua-ph-ciencias.pdf>
- Montero, V., & Ramírez, Y. (2018). *Análisis de la variabilidad en la calidad del agua, a partir del uso de índices de contaminación (ICOs) como aporte al pomca de la cuenca del río Guayuriba [Tesis de grado, Universidad Santo Tomás]*. Repositorio Institucional, Colombia. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/13688?show=full>
- Muntané, R. J. (Mayo de 2010). Introducción a la investigación básica. *RAPD ONLINE*, 33(3), 221-227. Obtenido de <https://www.sapd.es/revista/2010/33/3/03/pdf>
- Muñoz, H., Orozco, S., Vera, A., Suárez, J., García, E., Neria, M., & Jiménez, J. (2015). Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(5), 59-74. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000500005&lng=es&nrm=iso. ISSN 2007-2422
- Naciones Unidas. (2003). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo d ellos*

- Recursos Hídricos en el Mundo*. Ediciones UNESCO. Obtenido de <https://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>
- Neira, M. A. (2010). *Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación [Tesis de grado, Universidad de Chile]*. Repositorio Institucional, Santiago de Chile. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira_m/sources/neira_m.pdf
- Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2006). *Fundamentos de Ecología* (Quinta ed.). Cengage learning.
- Orarpo. (5 de Noviembre de 2020). *El Observatorio con la comunidad*. Obtenido de Descubre qué es un vertimiento y cuales son sus caracterizaciones: <http://www.orarbo.gov.co/es/con-la-comunidad/noticias/descubre-que-es-un-vertimiento-y-cuales-son-sus-caracterizaciones>
- Paredes, J. (1 de Julio de 2011). *Usmp.edu.pe*. Obtenido de Importancia del agua: <https://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info86/articulos/importanciaAqua.html>
- 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
- QuestionPro. (2020). *Questionpro*. Obtenido de Diseño de investigación. Elementos y características: <https://www.questionpro.com/blog/es/disenio-de-investigacion/>
- Quispe, Y. (2021). *Actividades antrópicas y calidad del agua en el río Chumbao [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]*. Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/60930/Quispe_QY-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Cardeñosa, M. (1999). Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales y Vertimientos. Formulación. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(5), 89-99. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100008
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña-Vizcaíno, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. formulaciones y aplicación. *CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3), 135-153. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/262521562_Cuatro_indices_de_contaminacion_para_caracterizacion_de_aguas_continental-formulaciones_y_aplicacion
- Recavarren, E. (2017). *Índices de contaminación (icos) del agua residual generada en fabricación de vinos y piscos de la bodega Recavarren EIRL en la ciudad de Tingo María [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2008>
- 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.

- Restrepo, I. (2015). *Evaluación de la calidad del recurso hídrico del río Cabí a través de la formulación de un índice de contaminación asociado a la actividad minera aurífera [Tesis de posgrado, Universidad de Manizales]*. Repositorio Institucional. Obtenido de https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2438/Restrepo_Ivan_Rodrigo_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 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.
- Rivera, F., Warren, A., Ramirez, E., Decamp, O., Bonilla, P., & Galleos, A. (1995). Removal of pathogens from wastewaters by the root zone metered (RZM). *Water Science and technology*, 32, 211-218.
- Rodríguez, D. (17 de Septiembre de 2020). *Lifeder.com*. Obtenido de Investigación básica: características, definición, ejemplos: <https://www.lifeder.com/investigacion-basica/>
- 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>
- Romero, J. A. (2009). *Calidad del Agua* (Segunda ed.). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- SACSA. (19 de Julio de 2016). *Importancia del fósforo por las plantas*. Obtenido de Gruposacsa.com: <https://www.gruposacsa.com.mx/importancia-del-fosforo-por-las-plantas/>
- Secretaria del Medio Ambiente. (2014). *El recurso hídrico en Antioquia*. Gobernación de Antioquia.
- 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>
- Severiche, Carlos A.; Barreto, Arnaldo J.; Acevedo, Rosa L. (2013). Efecto de las lluvias sobre la calidad del agua en la ciénaga grande de Santa Marta. *Avances investigación en ingeniería*, 10(1), 58–67. Obtenido de <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/2727>
- 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
- SMART. (2012). *La conductividad eléctrica del agua de riego*. Fertilizer.
- 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
- 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.
- Torres, J. A. (2008). *Análisis de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del río Motagua en diez puntos de muestreo ubicados en su cauce principal [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/rapidos2008/INF-2008-033.pdf>
- UNESCO. (27 de Abril de 2016). *Abordar la escasez y la calidad del agua*. Obtenido de Unesco.org: <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad#:~:text=La%20escasez%20de%20agua%20es%20la%20condici%C3%B3n%20en%20la%20cual,en%20la%20calidad%20del%20recurso>.
- 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
- Valcarcel, L. R., Alberro, N. M., & Frías, D. (2009). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Medio Ambiente y Desarrollo. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*(16), 1–5.
- Vásquez, G. L., Herrera, L., Cantera, J. R., Galvis, A., Cardona, D. A., & Hurtado, I. C. (2012). Metodología para determinar niveles de Eutrofización en ecosistemas acuáticos. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 24, 112-128. Obtenido de <https://revistaaccb.org/r/index.php/accb/article/download/81/81>

ANEXOS

Anexo 1: Panel fotográfico

Figura 28

Vista panorámica del punto de unión de los ríos Alameda y Huatatas



Figura 29

Punto de Unión de los ríos Alameda y Huatatas formando el río Muyurina

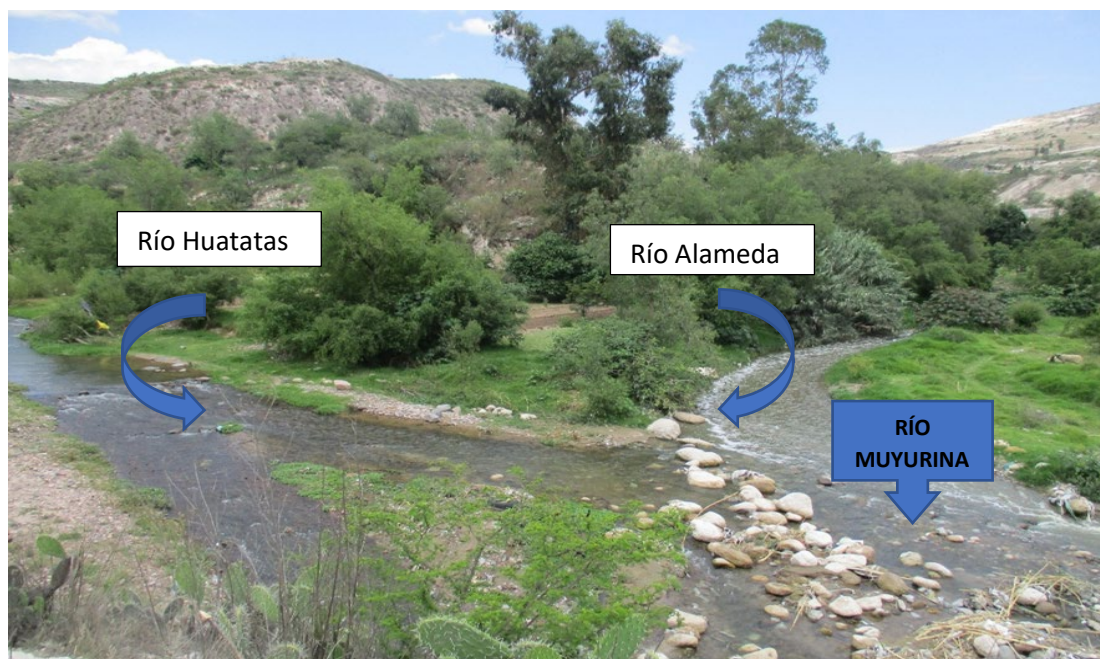


Figura 30

Determinación y fijación de las 4 puntos estaciones de muestreo



Figura 31

Determinación del caudal del río Muyurina



Figura 32

Determinación in situ de las coordenadas

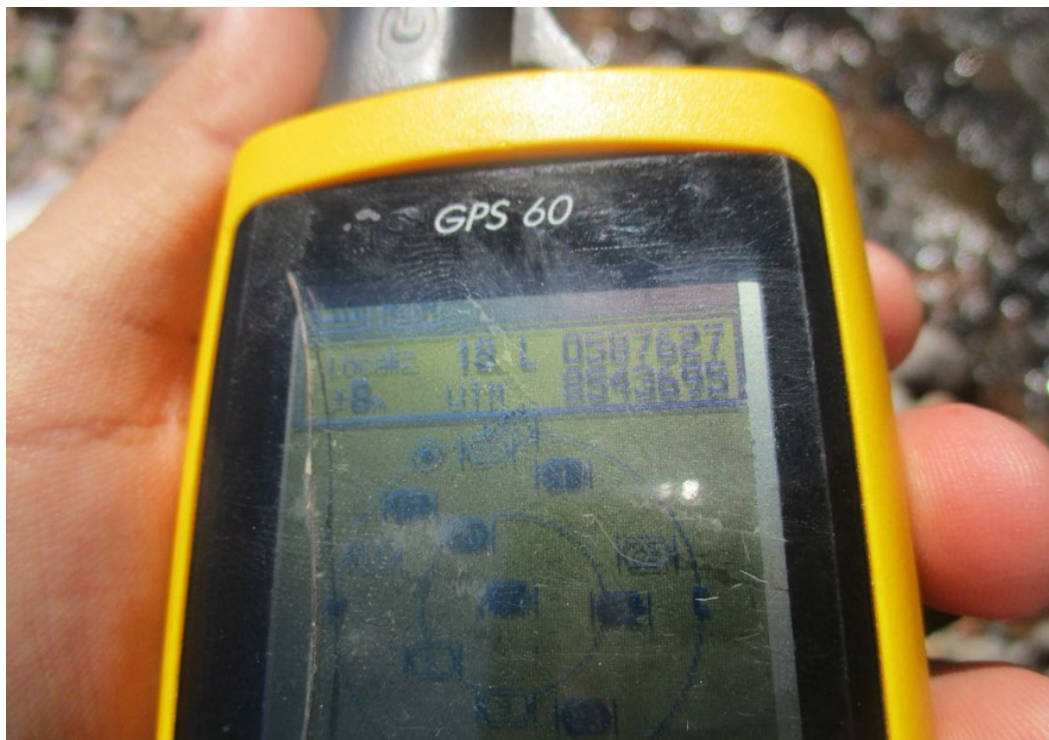


Figura 33

Equipo Turbidimetro (NTU)



Figura 34

Anotación de datos haciendo uso del Multiparámetro



Figura 35

Equipo de Espectrofotómetro



Figura 36

Medición del ancho del río Muyurina para la determinación del caudal



Figura 37

Toma de datos in situ en la estación de muestreo RMuyu-01, estiaje



Figura 38

Toma de muestras en la estación de muestreo 1 (RMuyu-01), estiaje



Figura 39

Toma de muestras en la estación de muestreo 2 (RMuyu-02), estiaje



Figura 40

Toma de muestras en la estación de muestreo 3 (RMuyu-03), estiaje



Figura 41

Toma de muestras en la estación de muestreo 4 (RMuyu-04), estiaje



Figura 42

Toma de datos in situ y muestras en el punto de muestreo estación 1 (RMuyu-01), época de lluvia



Figura 43

Toma de datos in situ y muestras en el punto de muestreo estación 2 (RMuyu-02), época de lluvia



Figura 44

Acumulación de basura por la corriente del río en el punto de muestreo estación 2 (RMuyu-02), época de lluvia



Figura 45

Toma de datos in situ y muestras en el punto de muestreo estación 3 (RMuyu-03), época de lluvia



Figura 46

Toma de datos in situ y muestras en el punto de muestreo estación 4 (RMuyu-04), época de lluvia



Figura 47

Presencia de cultivos de alfalfa, maíz, frutales y hortalizas alrededor de la estación de muestreo 2 (RMuyu-02)



Figura 48

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



Figura 49

Verificación de las muestras de los 4 puntos de estación, para sus respectivos análisis



Figura 50

Equipos empleados en la investigación



Figura 51

Haciendo uso de la balanza analítica



Figura 52

Filtración de las muestras, para la determinación de Sólidos Suspendedos Totales



Figura 53

Titulación para la determinación de Dureza Total



Figura 54

Determinación de Sólidos Suspendedos Totales usando la estufa



Figura 55

Valoración para la determinación de Fosfatos



Figura 56

Ensayos para la determinación de Fosfatos

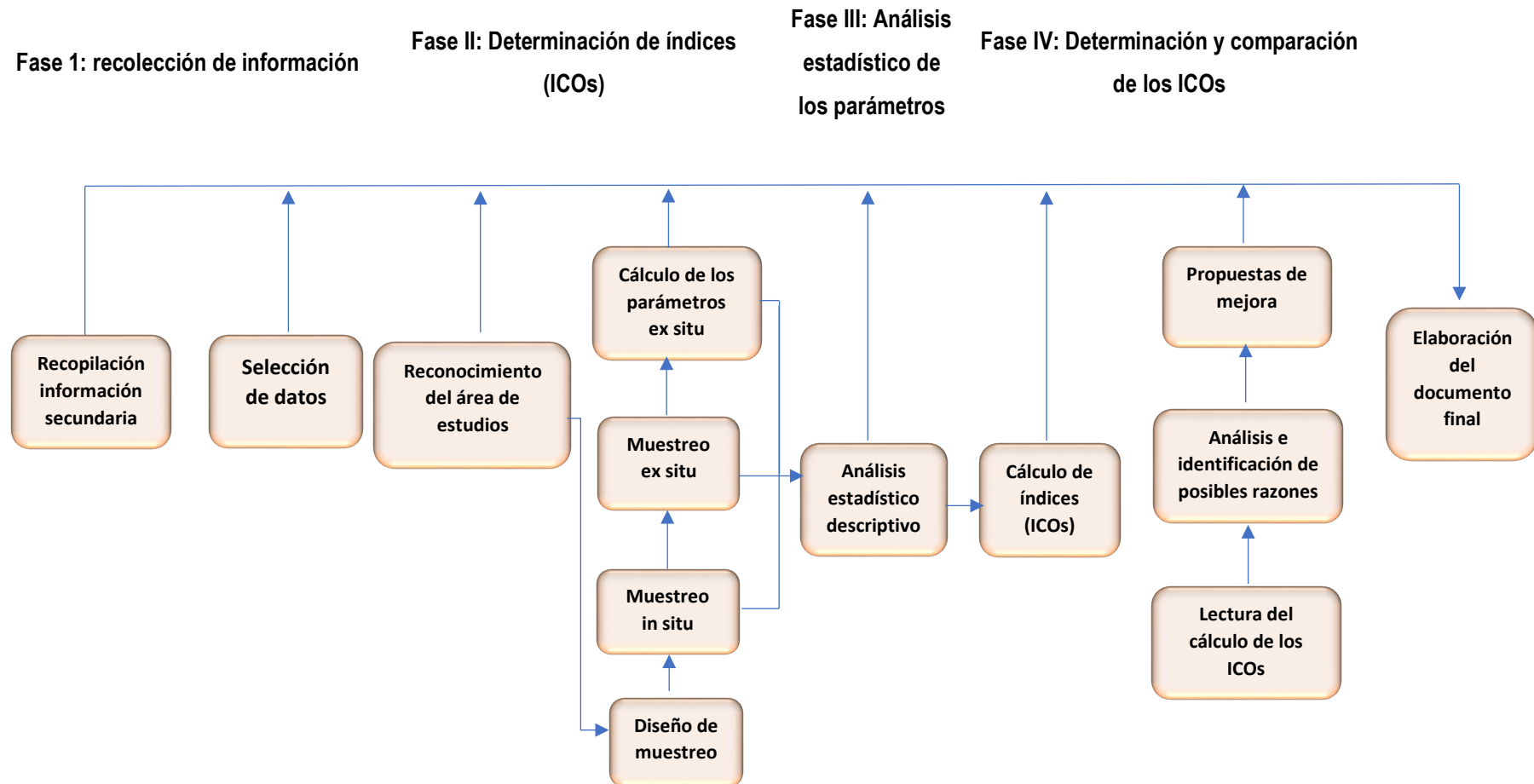


Figura 57

Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅



Anexo 2 Flujograma de la metodología



Anexo 3: Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA)



CUT: 135807

Expediente
Materia

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

RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 010 -2016-ANA

Lima, 11 ENE. 2016

VISTO:

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

CONSIDERANDO:

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

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

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

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

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

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



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

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

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

Con el visto de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la Oficina de Asesoría Jurídica y de la Secretaría General, y en uso de las facultades conferidas en el artículo 11° del Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua aprobado por Decreto Supremo N° 006-2010-AG;



SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Aprobación

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

Artículo 2°.- Publicación

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

Artículo 3°.- Derogatoria

Dejar sin efecto la Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA.

Regístrese, comuníquese y publíquese,



JUAN CARLOS SEVILLA GILDEMEISTER

Jefe
Autoridad Nacional del Agua

Anexo 4: Procedimientos para la obtención de los parámetros fisicoquímicos de recursos hídricos

1. Alcalinidad

Se busca determinar a una muestra de agua los distintos tipos de alcalinidad: total, a la fenolftaleína, de hidróxidos, de carbonatos y de bicarbonatos.

1.1. Fundamento

La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos y es la suma de todas las bases titulables. Por lo general se debe fundamentalmente a su contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, aunque otras sales o bases también contribuyen a la alcalinidad. Su valor puede variar significativamente con el pH del punto final. La muestra se valora con una solución de ácido mineral fuerte hasta pH 8.3 y 4-5. Estos puntos finales determinados visualmente mediante indicadores adecuados, son los puntos de equivalencia seleccionados para la determinación de los tres componentes fundamentales. Con el indicador de fenolftaleína, el pH 8.3 está próximo al punto de equivalencia para las concentraciones de carbonato y dióxido de carbono y representa la valoración de todo el hidróxido y la mitad del carbonato, mientras que el pH inferior (4-5) está próximo al punto de equivalencia para el ión hidrógeno y el bicarbonato y permite determinar la alcalinidad total.

1.2. Ámbito de aplicación

El método es aplicable a todo tipo de aguas.

1.3. Interferencias

Al igual que para la acidez, durante la toma de muestras, el almacenaje e incluso la valoración, pueden perderse o ganarse gases disueltos que contribuyen a la alcalinidad. Es conveniente reducir al mínimo estos efectos, titulando inmediatamente después de abrir el recipiente, evitando agitación o mezcla vigorosa y no dejando que alcance una temperatura superior a la de recolección.

En muestras fuertemente coloreadas o turbias puede enmascarse el cambio de color en el punto final y es recomendado el método potenciométrico. El cloro residual puede blanquear el indicador, por lo que debe eliminarse añadiendo tiosulfato de sodio previo a la valoración. La interferencia de carbonatos asociados a la materia en suspensión,

puede reducirse por filtración previa a la valoración.

1.4. Descripción de la metodología analítica

1.4.1. Colección, preservación y almacenaje de muestras:

Las muestras pueden colectarse en frascos plásticos o de vidrio borosilicatado de no menos de 200 mL, los que deben llenarse completamente y taparse herméticamente. No existe método de preservación. Deben analizarse sin dilación y evitando alterar las condiciones originales como el pH. En caso de requerirse almacenamiento, hacerlo a temperatura $\leq 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un tiempo máximo de 48 horas.

1.4.2. Equipos y materiales:

- Bureta
- Erlenmeyers de vidrio, preferiblemente de 200-300 mL
- Agitador magnético

1.4.3. 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.

- Solución de ácido sulfúrico 1 N: preparar esta solución de acuerdo a las indicaciones del fabricante y guardar en frasco ámbar. Esta solución es estable por seis meses.
- Solución de H_2SO_4 0,02 N: pipetear 20 mL de la solución de ácido sulfúrico 1,0 N a un matraz aforado de 1000 mL y enrasar con agua. Esta solución es estable por seis meses.
- Carbonato de sodio anhidro 0.02 N: secar algunos gramos de Na_2CO_3 anhidro a $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cuatro horas, enfriar en desecador, pesar 1,060 g, disolver en agua y diluir a 1000 mL en matraz aforado. Esta solución es estable por un mes si se almacena entre $4\text{ y }8\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Indicador Mixto (verde de bromocresol-rojo de metilo): pesar 0,02 g de rojo de metilo y 0.1 g de verde de bromocresol sal sódica y disolverlos en 100 mL de alcohol etílico (95 %) o alcohol isopropílico. Almacenar en un frasco de vidrio ámbar.
- Solución hidroalcohólica indicadora de fenolftaleína al 0,5 % (pH 8,3): pesar 0,5 g de fenolftaleína y disolverlos en 50 mL de alcohol etílico de 95 % y diluir a 100

mL con agua.

- Solución de tiosulfato de sodio 0,1 M: disolver 2,5 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y diluir a 100 mL con agua.

1.4.4.Procedimiento:

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

Titulación de la solución de ácido sulfúrico 0,02 N:

Debe realizarse cada vez que se prepare esta solución y después mensualmente mientras no se agote. “Control de soluciones de titulación”.

Pipetear 10 mL de solución de Na_2CO_3 0,02 N en un erlenmeyer de 250 mL y añadir 3 gotas de indicador mixto, que le dará color azul brillante. Titular a pH 4,6, dejando caer la solución de ácido sulfúrico 0,02 N gota a gota mientras se mantiene la muestra en agitación hasta vire de color rosa claro. A diferentes pH la muestra tendrá los siguientes colores:

pH = 4,6 rosa claro

pH = 4,8 gris rojizo

pH = 5,0 azul claro

pH = 5,2 azul verdoso

Anotar los mL consumidos. El volumen consumido debe ser cercano a 10 mL. Un mL de la solución de H_2SO_4 0,02 N es equivalente a 1,00 mg de CaCO_3 .

Cálculos: $V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$

Donde:

V_1 = Volumen de ácido sulfúrico

N_1 = Normalidad del ácido sulfúrico

V_2 = Volumen de carbonato de sodio

N_2 = Normalidad del carbonato de sodio

Realizar al menos dos réplicas que resulten coincidentes (diferencia máxima de 0,1 mL en los volúmenes gastados) y considerar el valor promedio.

El criterio previo de analizar réplicas, también se aplica a las muestras.

Determinación de alcalinidad en muestras:

- Ajustar la temperatura de la muestra a la temperatura ambiente.
- Pipetear 50 mL de muestra en un erlenmeyer manteniendo la punta de la pipeta cerca del fondo del matraz.
- Para muestras de agua tratada que contengan cloro residual, añadir una gota de solución de tiosulfato de sodio 0,1M.
- Se puede determinar la alcalinidad total o la alcalinidad a la fenolftaleína:
 - Para alcalinidad total: añadir 3 gotas de indicador mixto y titular con ácido sulfúrico 0,02 N hasta color rosa claro. Anotar los mL de solución titulante consumidos.
 - Para alcalinidad a la fenolftaleína: adicionar 2 a 3 gotas de indicador fenolftaleína y titular con ácido sulfúrico 0,02 N hasta desaparición de color. Anotar los mL de solución titulante consumidos. Si el pH de la muestra no es suficiente para colorearla de rosado al añadir el indicador, reportar como cero la alcalinidad a la fenolftaleína.
 - Se puede determinar ambas alcalinidades sobre la misma muestra, para lo cual se determina primero a la fenolftaleína (B) y después la total (A); para esta última, el volumen a considerar será la suma del consumido en las dos etapas.

A criterio del analista, cuando la alcalinidad sea > 200, el duplicado puede realizarse a partir de una alícuota y el resultado se aceptará si el coeficiente de variación no supera el 5 %.

1.5. Cálculos y presentación de resultados

Cálculos:

$$\text{Alcalinidad} \left(\frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} \right) = \frac{A \times N \times 50 \times 1000}{\text{mL (muestra)}}$$

Donde:

A = mL de ácido sulfúrico gastados en la titulación

N = normalidad del ácido sulfúrico

Con los resultados de las determinaciones de la alcalinidad total y de la alcalinidad a la fenolftaleína, se puede obtener la clasificación estequiométrica de las tres formas principales de alcalinidad que se encuentran en muchas aguas:

- Hay alcalinidad de Carbonatos (CO_3^{2-}) cuando la alcalinidad a la fenolftaleína no es nula pero es menor que la total.
- Hay alcalinidad de Hidróxidos (OH^-) cuando la alcalinidad a la fenolftaleína es mayor de la mitad de la total.
- Hay alcalinidad de Bicarbonatos (HCO_3^-) cuando la alcalinidad a la fenolftaleína es menor de la mitad de la total.

Tabla

Relaciones de alcalinidad

Resultado de la Titulación	Alcalinidad de Hidróxidos	Alcalinidad de Carbonatos	Alcalinidad de Bicarbonatos
$F = 0$	0	0	T
$F < \frac{1}{2} T$	0	2 F	$T - 2 F$
$F = \frac{1}{2} T$	0	2 F	0
$F > \frac{1}{2} T$	$2 F - T$	$2 (T - F)$	0
$F = T$	T	0	0

Donde:

F= Alcalinidad a la fenolftaleína

T= Alcalinidad Total

Los resultados se emitirán redondeados a la unidad y especificando el indicador empleado:

“La alcalinidad a pH_____ = _____ mg CaCO_3/L ”.

Los resultados $< 20 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$ sólo deben considerarse como indicativos e informarse como tal. Si se requiere conocer el valor, debe emplearse el método potenciométrico

para baja alcalinidad.

2. Dureza

Determinar por titulometría con EDTA, la dureza total, de calcio y/o de magnesio, y la concentración de calcio y/o magnesio en una muestra de agua.

2.1. Fundamento

En la práctica se define la dureza total del agua como la suma de las concentraciones de iones calcio y magnesio expresado como carbonato de calcio en mg/L. El método titulométrico se basa en la capacidad que tiene la sal sódica del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) para formar complejos de quelato solubles al añadirse a soluciones de algunos cationes metálicos. Al determinar la Dureza Total, el pH de la solución debe estar alrededor de 10, para lo cual se adiciona la solución tampón de dureza y como indicador el Negro de Eriocromo T, que causa una coloración rojo vino. La adición de EDTA como titulante acompleja los iones calcio y magnesio y en el punto final de la titulación, la solución vira a color azul. Para asegurar un satisfactorio punto final, tiene que existir Mg, el cual se introduce en el tampón. Aunque la agudeza del punto final se incrementa con el pH, éste no puede incrementarse indefinidamente pues precipitaría carbonato de calcio o hidróxido de magnesio. Para la Dureza de Calcio se utiliza como alcalinizante el hidróxido de sodio para llevar el pH a un alto nivel con el fin de precipitar el magnesio y poder determinar el calcio, utilizando Murexida como indicador, que forma con el EDTA un punto final de color violeta definido. La Dureza de Magnesio se determina por diferencia entre la Dureza Total y la de Calcio. El Calcio y el Magnesio se determinan por cálculos provenientes de las Durezas de Calcio y Magnesio, respectivamente.

2.2. Ámbito de aplicación

El método es aplicable a todo tipo de aguas, siempre que no sean altamente coloreadas, salinas o con altos contenidos de metales. Las aguas residuales o contaminadas deben someterse previamente a una digestión ácida.

2.3. Interferencias

A las concentraciones habitualmente encontradas en nuestras aguas crudas y tratadas, no interfieren otras sustancias.

2.4. Descripción de la metodología analítica

2.4.1. Recolección, preservación y almacenaje de muestras:

Las muestras pueden recolectarse en frascos de plástico o vidrio. Se recomienda analizar sin dilación, aunque pueden preservarse a $\text{pH} < 2$ con ácido nítrico o ácido sulfúrico y almacenarse por un tiempo no mayor de seis meses sin necesidad de refrigeración. No obstante, puede refrigerarse la muestra si otros analitos así lo requieren.

2.4.2. Equipos y materiales:

- Bureta
- Erlenmeyers de vidrio, preferiblemente de 200-300 mL
- Agitador magnético

2.4.3. 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.

Solución EDTA 0.01M: utilizar la Solución Titrisol Titriplex III 0.1 M; pipetear 100 mL de esta solución Titrisol a un matraz aforado de 1000 mL y enrasar con agua. Pueden emplearse otras soluciones comerciales de EDTA.Na 0,01 M valoradas.

Como alternativa: pesar 3,723g de la sal sódica del ácido etilendiaminotetraacético dihidratado ($\text{EDTA-Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y 0,4 g de NaOH y disolverlo con agua enrasando en matraz aforado de 1000 mL. En cualquier caso, hay que estandarizar con solución estándar de Ca; un mL de solución EDTA 0,0100 M equivale a 1000 μg CaCO_3 (ó 400,8 μg Ca) /mL. Guardar en frasco de vidrio borosilicatado o de plástico. Es estable por varias semanas, pero para compensar el posible deterioro gradual, debe estandarizarse mensualmente. Los resultados se registran en el "Control de soluciones de titulación".

Solución de Calcio Estándar 0,01 M: pesar 1,0000 g de carbonato de calcio anhidro (CaCO_3), previamente secado a 120 °C por dos horas y colocarlo en un erlenmeyer de 500 mL. Colocar un embudo en el cuello del frasco y adicionar poco a poco HCl 1:1 hasta disolver el carbonato de calcio. Añadir 200 mL de agua destilada y hervir por algunos minutos (2-4) para expulsar el CO_2 . Enfriar y añadir 2 gotas de rojo de metilo. Ajustar el color a naranja añadiendo gotas de HCl 1:1 o de NH_4OH 3N. Trasvasar a un matraz aforado de 1000 mL y enrasar con agua. Un mL de esta solución contiene 1,00

mg de CaCO_3 . Guardar en frasco de vidrio hasta seis meses.

Solución Tampón para Dureza Total: pesar y disolver 16,9 g de cloruro de amonio (NH_4Cl) en 143 mL de hidróxido de amonio concentrado (NH_4OH).

Añadir 1,25 g de sal de magnesio de EDTA. Enrasar con agua en matraz aforado de 250 mL.

Solución de hidróxido de sodio 1 N: pesar 40 g de NaOH en lentejas y disolverlos con agua en balón aforado de 1000 mL.

Solución de ácido clorhídrico 1:1: tomar 100 mL de HCl concentrado y completar a 200 mL con agua en balón aforado.

Indicador Negro de Eriocromo T: pesar 0,5 g de polvo Negro de Eriocromo T y mezclarlos íntimamente con 100 g de cloruro de sodio finamente pulverizado y seco. Guardar en una botella oscura, su estabilidad es al menos de un año.

Indicador de Murexida: pesar 0,2 g de polvo Murexida (purpurato de amonio) y mezclarlos íntimamente con 100 g de NaCl finamente pulverizado y seco. Conservar por seis meses.

2.4.4.Procedimiento:

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

Titulación del EDTA 0,01 M:

Dejar que la solución estándar de Ca alcance la temperatura ambiente y pipetear 10 mL de la misma a un matraz erlenmeyer de 250 mL, agregar 40 mL de agua desionizada y 1 mL de solución tampón (para garantizar pH próximo a 10). Añadir 1 cucharilla de Indicador Negro de Eriocromo T (la solución tomará color rojo vino). Titular con solución EDTA hasta viraje a color azul suave.

$$\text{Cálculos: } V_{\text{CaCO}_3} \times M_{\text{CaCO}_3} = V_{\text{EDTA}} \times M_{\text{EDTA}}$$

Realizar al menos dos réplicas que resulten coincidentes (diferencia máxima de 0,1 mL en los volúmenes gastados) y considerar el valor promedio.

El criterio previo de analizar réplicas, también se aplica a las muestras.

Determinación de dureza total en muestras:

- Dejar que la muestra alcance la temperatura ambiente.
- Pipetear 50 mL de muestra a un erlenmeyer.
- Añadir 1 mL de solución tampón y una cucharilla de Indicador Negro de Eriocromo T (la solución tomará color rojo vino).
- Titular con solución EDTA hasta viraje a color azul suave.

Determinación de dureza de calcio en muestras:

- Dejar que la muestra alcance la temperatura ambiente.
- Pipetear 50 mL de muestra a un erlenmeyer.
- Añadir 1 mL de solución NaOH 1N y verificar que el pH sea 12-13. De ser necesario, añadir otro mL de NaOH; añadir una cucharilla de Indicador de Murexida (la solución tomará color rosado).
- Titular inmediatamente con solución EDTA (ya que el indicador es inestable en medio básico) hasta color violeta definido; anotar el volumen de EDTA consumido y añadir 1-2 gotas en exceso para verificar que no ocurre cambio de color adicional.

2.5. Cálculos y presentación de resultados

Cálculos:

$$\text{Dureza total:} \quad \text{Dureza total como mg CaCO}_3 / L = \frac{A \times M \times 100000}{\text{mL de muestra}}$$

$$\text{Dureza de Calcio:} \quad \text{Dureza de Ca como mg CaCO}_3 / L = \frac{A \times M \times 100000}{\text{mL de muestra}}$$

Para ambas:

A = mL de EDTA gastados en la titulación

M = molaridad del EDTA

Para 50 mL de muestra, volumen habitualmente utilizado, se simplifica a:

$$\text{Dureza (total o de Ca) como mg CaCO}_3 / L = A \times M \times 2000 \times F_d$$

F_d es el factor de dilución.

Dureza de Magnesio: $Dureza\ de\ Magnesio = Dureza\ Total - Dureza\ de\ Calcio$

Calcio: $mg\ Ca / L = Dureza\ de\ Calcio / 2,5$ o

$$mg\ Ca / L = \left[A \times 40,08 \times M \times 1000 \right] / mL\ de\ muestra$$

Magnesio: $mg\ Mg / L = Dureza\ de\ Magnesio / 4,12$ o

$$mg\ Mg / L = Dureza\ de\ Magnesio \times 0,243$$

Todos los resultados se expresan en mg/L y redondeados a la unidad. Para las durezas se expresan en mg $CaCO_3/L$.

Cuando el resultado sea $< 5\ mg/L$, consultar el límite de detección vigente o calcularlo en el momento del ensayo.

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 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 $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$): 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 $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$): 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.

4. Sólidos Suspendidos Totales

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

4.1. Fundamento

La determinación de los sólidos suspendidos totales (SST) se basa en el incremento de peso que experimenta un filtro de fibra de vidrio (previamente tarado) tras la filtración al vacío, de una muestra que posteriormente es secada a peso constante a 103-105 °C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión.

La diferencia entre los sólidos totales y los disueltos totales, puede emplearse como estimación de los sólidos suspendidos totales.

4.2. Ámbito de aplicación

El método es aplicable a todo tipo de aguas.

4.3. Interferencias

- La temperatura a la cual el residuo se seca, tiene un efecto importante sobre los resultados, ya que estos pueden resultar menores (por pérdidas en el peso de la materia orgánica, desprendimiento de gases por descomposición química o por la oxidación del residuo) o mayores por la oclusión del agua.
- Eliminar de las muestras las partículas gruesas flotantes o los aglomerados sumergidos de materiales no homogéneos.
- Un residuo excesivo sobre el filtro puede formar una costra hidrófila, por lo que debe limitarse el tamaño de la muestra para tratar de obtener un residuo no mayor de 200 mg.
- Los resultados de muestras ricas en grasas y aceites flotantes pueden ser cuestionables debido a la dificultad de secarlas a peso constante en un tiempo prudencial.
- El tipo de soporte del filtro, el tamaño del poro, la porosidad, el área y el espesor del filtro, así como la naturaleza física y el tamaño de las partículas y la cantidad

de material depositado en el filtro, son los factores principales que afectan a la separación de los sólidos suspendidos de los disueltos.

- Los tiempos de filtración prolongados, consecuencia de la obstrucción del filtro, pueden originar resultados altos debido a una cantidad excesiva de sólidos capturados en el filtro obturado.

4.4. Descripción de la metodología analítica

4.4.1.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.

4.4.2.Equipos y materiales:

- Equipo de filtración
- Filtros para análisis gravimétrico: AP40 Millipore o equivalente (como GF 1822047 ó 934AH Whatman)
- Estufa
- Desecador con sílica azul como indicador colorimétrico de humedad
- Balanza analítica
- Agitador magnético
- Probetas de diferentes volúmenes

4.4.3.Procedimiento:

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

- Preparación del filtro de fibra de vidrio:
- Alistar la estufa a una temperatura entre 103-105 $^{\circ}\text{C}$.
- Empleando grafito, marcar el filtro de forma inequívoca (ej.: mediante numeración consecutiva).
- Colocar el filtro (con la cara rugosa hacia arriba), en el equipo de filtración.
- Aplicar vacío y lavar el filtro con 3 porciones sucesivas de 20 mL de agua destilada.
- Mantener la filtración hasta la remoción total de las trazas de agua.
- Desechar el filtrado.
- Retirar el filtro, colocarlo en un papel de aluminio y secarlo en estufa a 103-105

°C durante una hora.

- Enfriar en el desecador hasta su empleo, pesar el filtro, y registrar los datos.
- Repetir hasta que la variación del peso sea < 4 % ó de 0,5 mg (lo que resulte menor). Anotar el peso del filtro (peso A).

Análisis de la muestra:

- Esperar a que la muestra se encuentre a temperatura ambiente.
- En función del aspecto de la muestra, seleccionar el volumen a filtrar.
- Coger el filtro previamente tarado del desecador, llevarlo al equipo de filtración e iniciar la succión.
- Agitar la muestra adecuadamente y depositar el volumen seleccionado sobre el filtro.
- Una vez que la muestra haya terminado de filtrar, lavar 3 veces sucesivas con volúmenes de 10 mL de agua destilada dejando secar entre lavados.
- Retirar el filtro y llevarlo al papel de aluminio (al mismo donde se guardó en el desecador) y secarlo en la estufa a 103-105 °C durante una hora. A criterio del analista, el secado puede extenderse (incluida toda la noche), cuando la apariencia física de la muestra denote presencia de grasa o alto contenido de sales.
- Enfriar en desecador, pesar el filtro y registrar los datos.
- Repetir el ciclo de secado, enfriamiento, desecado y pesado, hasta que la variación del peso sea < 4 % ó de 0,5 mg (lo que resulte menor). Anotar los pesos del filtro (peso B).

4.5. Cálculos y presentación de resultados

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

Donde:

A = peso del filtro seco antes de la filtración (en mg)

B = peso del filtro + residuo seco (en mg)

En ambos casos, se empleará el promedio de los dos valores que cumplan el requisito de peso constante antes enunciado. Los resultados inferiores a 1 mg/L deben informarse como "< 1 mg/L". Resultados entre 1-10 mg/L, se informarán con una cifra decimal;

superiores a 10 mg/L, se redondearán a la unidad.

4.6. 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 %.

Anexo 5: Índices de Número Más Probable 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 6: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, D.S. N° 004-2017-MINAM

10

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017 /  El Peruano

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

- B1. Contacto primario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

- B2. Contacto secundario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales**a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

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

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos**- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precisese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermiales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceltes y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Niquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24

ORGÁNICO

Bifenilos Policlorados

Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
------------------------------	------	------	--	-------

PLAGUICIDAS

Paratión	µg/L	35		35
----------	------	----	--	----

Organoclorados

Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difetil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4

Carbamato

Aldicarb	µg/L	1		11
----------	------	---	--	----

MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO

Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminths	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Anexo 7: Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos

CUT: 140387



REPUBLICA DEL PERU

RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 042-2016-ANA
Lima, 16 FEB. 2016

VISTO:

El Memorando N° 084-2016-ANA-DGCRH de fecha 15 de enero de 2016, y el Informe Técnico N° 006-2016-ANA-DGCRH-GEGRH, de fecha 15 de enero de 2016, ambos del Director de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua; y,

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 14° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos establece que la Autoridad Nacional del Agua es el ente rector y la máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos;

Que, por su parte, el artículo 193° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG, determina que la planificación de los recursos hídricos tiene por objeto promover su uso sostenible, equilibrar la oferta con la demanda del agua, la conservación y la protección de la calidad de las fuentes naturales, en armonía con el desarrollo nacional, regional y local, así como la protección e incremento de la cantidad de la disponibilidad de agua;

Que, bajo este contexto, mediante Decretos Supremos N° 006-2015-MINAGRI y 013-2015-MINAGRI se aprobaron la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos y el Plan Nacional de los Recursos Hídricos, respectivamente;

Que, asimismo, mediante Resoluciones Jefaturales N°s 112-2014-ANA, 113-2014-ANA, 117-2014-ANA, 118-2014-ANA, 119-2014-ANA y 131-2014-ANA, se aprobaron los planes de gestión de recursos hídricos de las cuencas Quilca-Chili, Chira-Piura, Tumbes, Chancay-Lambayeque, Chancay-Huaral, y Caplina-Locumba, respectivamente;

Que, mediante el Informe del Visto, el Director de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua, señala que la "Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos" fue elaborada en un proceso participativo a través de talleres a nivel nacional en los que se socializaron la estrategia y el plan de acción que involucra acciones estratégicas técnicas, normativas y de gestión; metas a corto, mediano y largo plazo, actores, indicadores y resultados esperados en un horizonte propuesto de diez años (2016 - 2025);

Que, en ese sentido mediante Resolución Jefatural N° 234-2015-ANA, de fecha 07 de setiembre de 2015, se pre publicó, el Proyecto de Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos, a fin de que los interesados remitan sus opiniones y sugerencias;







Que, de igual forma, el Director de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua, señala que habiéndose consolidado y analizado los aportes efectuados por los interesados, a la "Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos", y encontrándola conforme solicita su aprobación;

Que, en consecuencia, corresponde aprobar la "Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos", la misma que tiene por objetivo recuperar y proteger la calidad de los recursos hídricos, a través del fortalecimiento de la institucionalidad para la gestión integrada de los Recursos Hídricos;

Con la Conformidad de la Dirección de Gestión de la Calidad de Recursos Hídricos, los vistos de la oficina de Asesoría Jurídica, de la Secretaría General y en uso de las facultades conferidas por el artículo 11 del Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua aprobado por Decreto Supremo N° 006-2010-AG



SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Aprobación

Aprobar, la Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos, como instrumento que promueve y orienta las acciones estructurales y no estructurales requeridas para la recuperación y protección de la calidad de los recursos hídricos.



Artículo 2°.- Difusión

Encargar a la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos y a la Dirección de Gestión del Conocimiento y Coordinación Interinstitucional las acciones de articulación, para la adecuada difusión e implementación de la Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos.



Artículo 3°.- Gastos

Precisar que la presente resolución no irroga gasto alguno al pliego presupuestal de la Autoridad Nacional del Agua.



Artículo 4°.- Publicación

Dispóngase la publicación de la presente Resolución Jefatural y de la Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos en el portal web de la Autoridad Nacional del Agua, www.ana.gob.pe.

Regístrese, comuníquese y publíquese



JUAN CARLOS SEVILLA GILDEMEISTER
Jefe
Autoridad Nacional del Agua

Resumen Ejecutivo

El Perú, país privilegiado por su oferta hídrica, dispone de un volumen anual promedio de 1 768 512 MMC de agua, el 97.2% del volumen total corresponde a la vertiente del Amazonas, en donde se asienta el 30 % de la población; el 0.5% pertenece a la vertiente del Titicaca donde se asienta el 5 % de la población; y el 1.8% de este volumen restante corresponde a la vertiente del Pacífico en donde se establece el 65% de la población.

El agua un recurso natural renovable satisface la demanda de actividades poblacionales y productivas, así como es necesaria para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos y terrestres. La disponibilidad de este recurso se ve afectado por el crecimiento demográfico con su consecuente uso territorial que prioriza el uso poblacional respecto a los servicios ecosistémicos; la desigual distribución espacial del agua por vertiente, la variabilidad temporal y climática y eventos extremos, determinan diferencias significativas en su disponibilidad.

El Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos (SNGRH) asegura la protección, aprovechamiento sostenible y recuperación de la calidad de los recursos hídricos a través de los planes de gestión de cuencas que contribuyen con la mejora de la calidad de vida de las poblaciones y los ecosistemas.

La institucionalidad en la gestión de la calidad de los recursos hídricos ha dado un importante avance con la creación de los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca; estos últimos constituyen espacios de coordinación dirigidos a encaminar una gestión multisectorial del agua.

Con la aprobación de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos (LRH) y su Reglamento, se inicia un nuevo marco político, normativo e institucional, donde la Autoridad Nacional del Agua es el ente rector del SNGRH que conduce los procesos de gestión integrada y de protección de los recursos hídricos, ecosistemas que lo conforman y los bienes asociados en los ámbitos de las cuencas hidrográficas. Este marco político se consolida con la promulgación de los Decretos Supremos N° 006-2015-MINAGRI y N° 013-2015-MINAGRI que aprueban la Política y Estrategia Nacional de los Recursos Hídricos (PENRH) y el Plan Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), respectivamente.

La Autoridad Nacional del Agua, desde el año 2009, viene ejecutando paulatinamente acciones de vigilancia de los recursos hídricos que incluyen el monitoreo e identificación de fuentes contaminantes con el objetivo de evaluar el estado de la calidad del agua de los diversos cuerpos naturales de agua (ríos, lagos y lagunas). El resultado de estas acciones registra algunos parámetros que exceden los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en 41 unidades hidrográficas. Además se ha identificado una problemática asociada a los vertimientos de aguas residuales no tratadas, manejo inadecuado de residuos sólidos, pasivos ambientales (mineros, hidrocarburíferos, agrícolas y poblacionales), minería informal e ilegal, y otros vinculados a las características naturales de las cuencas hidrográficas.

En ese sentido, la Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos, define las acciones técnicas, normativas y de gestión en un horizonte de diez años (2016-2025); distribuidas en tres líneas de acción: recuperación de la calidad de los recursos hídricos (reducción de la carga contaminante aportada por vertimientos de aguas residuales y remediación de pasivos ambientales), protección de los recursos hídricos y Fortalecimiento institucional para la gestión de los recursos hídricos.

El proceso de implementación se encuentra armonizado con los instrumentos de planificación nacional como el Plan Nacional de Acción Ambiental, la Política y Estrategia Nacional de los Recursos Hídricos y el Plan Nacional de Recursos Hídricos, con lo que se espera lograr la recuperación gradual de la calidad de los recursos hídricos, establecer el cumplimiento de mecanismos articulados de protección y fortalecimiento de la gestión integrada de los recursos hídricos.

Anexo 8: Datos obtenidos in situ y resultados obtenidos de laboratorios en época de estiaje

DATOS OBTENIDOS INSITU CON EL MULTIPARÁMETRO												
MES DE MUESTREO (ÉPOCA DE ESTIAJE)	Noviembre				Diciembre				Enero			
FECHA	21/11/2018				19/12/2018				22/01/2019			
INDICADORES	RMuyu-01	RMuyu-02	RMuyu-03	RMuyu-04	RMuyu-01	RMuyu-02	RMuyu-03	RMuyu-04	RMuyu-01	RMuyu-02	RMuyu-03	RMuyu-04
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)	28,20	29,60	33,40	29,50	44,30	47,90	50,90	45,10	29,40	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 ÁNALISIS INSTRUMENTAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA												
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
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
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 9: Datos obtenidos in situ y resultados obtenidos 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-01	RMuyu-02	RMuyu-03	RMuyu-04	RMuyu-01	RMuyu-02	RMuyu-03	RMuyu-04	RMuyu-01	RMuyu-02	RMuyu-03	RMuyu-04
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)	60,50	55,63	65,56	66,43	174,00	152,00	161,00	151,00	174,00	152,00	161,00	151,00
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 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA												
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
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
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

Anexo 10: Matriz de consistencia

TÍTULO DEL PLAN DE TESIS: EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO MUYURINA EMPLEANDO EL MÉTODO DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICOs), AYACUCHO 2018-2019			TESISTA: Zulma JAYO CUELLAR	
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES, DIMENSIÓN E INDICADORES	DISEÑO METODOLÓGICO
1) Problema Principal ¿Cuál es el nivel de contaminación del río Muyurina empleando el método de los Índices de Contaminación (ICOs), en la región Ayacucho en el año 2018-2019? 2) Problemas Secundarios a. ¿Cuáles son los parámetros relacionados con el índice de contaminación del río Muyurina? b. ¿Cuáles son los valores de los Índices de Contaminación del río Muyurina? c. ¿Cuál es la escala de los índices de contaminación (ICOs) del agua del río Muyurina? d. ¿Cuál es la propuesta de mejora para los ICOs del río Muyurina en base a los factores contaminantes?	1) Objetivo General Evaluar el nivel de contaminación del río Muyurina empleando el método de los Índices de Contaminación (ICOs), en la región de Ayacucho en el año 2018-2019. 2) Objetivos Específicos a. Determinar los parámetros relacionados con el Índice de contaminación del río Muyurina. b. Determinar los valores de los Índices de Contaminación del río Muyurina. c. Establecer la escala de los índices de contaminación (ICOs) del agua del río Muyurina. d. Presentar una propuesta de mejora para los ICOs del río Muyurina en base a los factores contaminantes.	1) Hipótesis General Los Índices de Contaminación del Agua (ICOs) del río Muyurina tiene el grado de contaminación “Alta” en el año 2018-2019 por lo que es necesario una propuesta de mejora. 2) Hipótesis específicas a. Los parámetros relacionados con el Índice de contaminación del río Muyurina son: la DBO₅ (mg/L), % oxígeno disuelto, Solidos Suspendidos Totales (mg/L) y fosfatos (mg/L). b. Los valores de Índices de Contaminación del río Muyurina se encuentran en el rango de 0,4-0,8; que significa incidencia importante de contaminación. c. La escala de los Índices de Contaminación del Agua (ICOs) del río Muyurina se encuentra ente contaminación “Media” y “Alta”. d. La propuesta de mejora para los ICOs del río Muyurina proporcionará alcances que ayudaría en la toma de acciones de las autoridades correspondientes.	Variable de estudio (interés) - Índice de Contaminación del Agua (ICOs) Indicadores <i>I_{Conductividad}</i> <i>I_{Dureza}</i> <i>I_{Alcalinidad}</i> <i>I_{DBO5}</i> <i>I_{Colif. tot.}</i> <i>I_{Oxigeno %}</i> - pH - Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) - Fosfatos (mg/L)	1) Tipo de Investigación - Básica. 2) Nivel de Investigación - Descriptiva, porque se realizará la determinación del Índice de Contaminación del Agua (ICOs) sin manipular ninguna variable. 3) Método - Descriptivo - Deductivo - Analítico - Comparativo 4) Diseño - No experimental, longitudinal. 5) Población - Aguas del río Muyurina, distrito Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Tambillo y Jesús Nazareno, provincia de Huamanga, región Ayacucho. 6) Muestra - Muestra de aguas del río Muyurina. 7) Técnicas - Métodos de medición y análisis químico para el ICOs del río Muyurina. - Compilación, procesamiento y análisis de datos. 8) Instrumentos - Resultados de análisis de laboratorio.

**UNSCH**ESCUELA DE
POSGRADO**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD 052-2023-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° 198-2021-UNSCH-EPG/D, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:

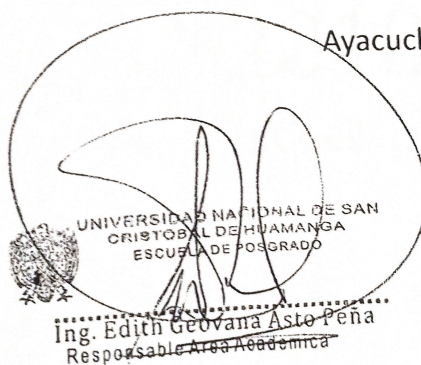
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

AUTOR:	Bach. ZULMA JAYO CUELLAR
MAESTRÍA:	INGENIERIA AMBIENTAL
TÍTULO DE TESIS:	EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO MUYURINA EMPLEANDO EL MÉTODO DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICO), AYACUCHO 2018-2019
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD:	14%
N° DE TRABAJO:	2024270572
FECHA:	27-feb.-2023

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, 27 de febrero del 2023.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE POSGRADO
Ing. Edith Geovana Asto Peña
Responsable Área Académica

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO MUYURINA EMPLEANDO EL MÉTODO DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICO), AYACUCHO 2018-2019

por Zulma Jayo Cuellar

Fecha de entrega: 27-feb-2023 08:37a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2024270572

Nombre del archivo: TESIS_ZULMA_270223.docx (5.07M)

Total de palabras: 26913

Total de caracteres: 148415

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO MUYURINA EMPLEANDO EL MÉTODO DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICO), AYACUCHO 2018-2019

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

ÍNDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repository.usta.edu.co

Fuente de Internet

3%

2

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

2%

3

repositorio.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

revistas.ufps.edu.co

Fuente de Internet

1%

5

doc.rero.ch

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

7

repositorio.unas.edu.pe

Fuente de Internet

1%

8

hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1%

9	repositorio.ufpso.edu.co:8080 Fuente de Internet	<1 %
10	www.inei.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
11	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %

21	www.scielo.org.pe Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to Colegio Delta Trabajo del estudiante	<1 %
23	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
25	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
26	www.corpoboyaca.gov.co Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 30 words
 Excluir bibliografía Activo



ESCUELA DE

POSGRADOUNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR
AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO (A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL
RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 00120-2023-UNSH-EPG/D

Siendo las 6:00 p.m. del 6 de Febrero de 2023 se reunieron en el auditorio 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 (e) 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: **Dra. Alcira Irene CÓRDOVA MIRANDA** y la **Mg. Hernán Pedro QUISPE MISAICO**; para la sustentación oral y pública de la tesis titulada: **EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO MUYURINA EMPLEANDO EL MÉTODO DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICO), AYACUCHO 2018-2019**. En la Ciudad de Ayacucho del 2023 presentado por la **Bach. Zulma JAYO CUELLAR**, Teniendo como asesora al **Mtro. Edgar Gregorio ARONÉS 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. Zulma JAYO CUELLAR**, el Grado Académico de **MAESTRO (A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

Siendo las 7.40 hrs. Se levanta la sesión.

Se extiende el acta en la ciudad de Ayacucho, a las 7.40 hrs. Del 06 de febrero 2023.

.....
Dr. Emilio Germán RAMÍREZ ROCA
Director (e) de la Escuela de Posgrado

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

.....
Dra. Alcira Irene CÓRDOVA MIRANDA
Miembro

.....
Mg. Hernán Pedro QUISPE MISAICO
Miembro

.....
Dr. Marco Rolando ARONÉS JARA
Secretario Docente

Observaciones:

.....

.....