

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO

COATA, PROVINCIA SAN ROMÁN - PUNO, 2024

PRESENTADA POR:

MARY LUZ QUISPE QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2025



Repositorio Institucional ALCIRA by Universidad Privada San Carlos is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



5.18%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 24 MAR 2025, 6:48 PM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
0.97%

● CHANGED TEXT
4.21%

Report #25423557

MARY LUZ QUISPE QUISPE // EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO COATA, PROVINCIA SAN ROMÁN - PUNO, 2024 RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad de las aguas superficiales de acuerdo a la concentración de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo-explicativo, con un diseño no experimental de corte longitudinal. La población estuvo conformada por el río Coata, del cual se extrajeron dos muestras de agua para su análisis. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos revelaron que la turbidez es (24.95 UNT en M1 y 24.86 UNT en M2), conductividad eléctrica (185.90 μ S/cm en M1 y 174.40 μ S/cm en M2), temperatura (17.10 °C en M1 y 17.50 °C en M2), sólidos totales disueltos (93.20 mg/L en M1 y 87.10 mg/L en M2), pH (7.35 en M1 y 8.31 en M2) y oxígeno disuelto (>6 mg/L en ambas muestras) cumplen con los límites permisibles. Sin embargo, se observaron excedencias en la DQO (110.20 mg/L en M1 y 94.10 mg/L en M2), DBO (44.08 mg/L en M1 y 64.00 mg/L en M2), nitrato (11.9 mg/L en M1 y 36.3 mg/L en M2), nitrito (1.07 mg/L en M1 y 1.04 mg/L en M2) y nitrógeno amoniacal (22.90 mg/L en M1 y 3.20 mg/L en M2), superando los límites establecidos. Respecto a los metales pesados, se registraron concentraciones superiores a los límites permisibles para

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO

COATA, PROVINCIA SAN ROMÁN - PUNO, 2024

PRESENTADA POR:

MARY LUZ QUISPE QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:



Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

PRIMER MIEMBRO

:



Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

SEGUNDO MIEMBRO

:



M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS

:



Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOZQUETA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Líneas de Investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 28 de marzo del 2025.

DEDICATORIA

A DIOS por guiarme por el buen camino y la fortaleza por seguir adelante en cada adversidad que se me presento y por su infinita bondad y amor.

A mi familia, quien durante todo el proceso de mi formación académica me brindó su apoyo incondicional para desarrollar mis capacidades y asumir nuevos retos.

A mis docentes, quienes me brindaron su conocimiento y sabiduría para guiar mi camino.

Mary Luz Quispe Quispe

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada San Carlos, Facultad de Ingenierías y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por haberme brindado una formación profesional gracias a las enseñanzas de sus docentes por los conocimientos impartidos durante mi formación profesional.

Mi sincero agradecimiento a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por sus valiosas enseñanzas y sus sabios consejos que han permitido alcanzar mis metas como Ingeniero Ambiental.

A los miembros del jurado de tesis conformado por: Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda, Dr. Esteban Isidro Leon Apaza y M.Sc. Fredy Aparicio Castillo Suaquita por todo el apoyo brindado de cada uno de los miembros del jurado.

A mi asesor Mg. Elvira Anani Durand Goyzueta quien con su paciencia y conocimientos pude lograr terminar la elaboración de mi tesis

Y también a todas las personas que se vieron involucradas en el desarrollo de este trabajo de titulación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
1.2. ANTECEDENTES	15
1.2.1. ANTECEDENTES NACIONALES	15
1.2.2. ANTECEDENTES REGIONALES	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	23
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	23
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	24
---------------------------	-----------

2.1.1. EL AGUA	24
2.1.2. CALIDAD DE AGUA	30
2.2. MARCO CONCEPTUAL	41
2.3. MARCO NORMATIVO	46
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	46
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	46
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	46
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	48
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	49
3.2.1. POBLACIÓN	49
3.2.2. MUESTRA	50
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	51
3.3.1. MÉTODOS	51
3.3.2. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICO	52
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	55
3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	56
CAPÍTULO IV	
EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PRESENTES EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO COATA, PROVINCIA SAN ROMÁN - PUNO, 2024.	57
4.2. DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO COATA, PROVINCIA SAN ROMÁN - PUNO, 2024.	63

4.3. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS	68
4.3.1. HIPÓTESIS GENERAL	68
4.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 01	69
4.3.3. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 02	70
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFÍA	77
ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Ubicación de las estaciones de muestreo en las aguas del río Coata.	50
Tabla 02: Materiales y equipos que serán utilizadas en el presente estudio	52
Tabla 03: Operacionalización de las variables	55
Tabla 04: Concentración de parámetros físico-químicos en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024	57
Tabla 05: Concentración de metales pesados en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Ubicación geográfica de la zona de estudio	49
Figura 02: Imagen satelital de río Coata	50
Figura 03: Toma de muestras de aguas superficiales en el río Coata (CoatM1)	96
Figura 04: Toma de muestras de aguas superficiales en el río Coata (CoatM1)	96
Figura 05: Toma de muestras de aguas superficiales en el río Coata (CoatM2)	97
Figura 06: Toma de muestras de aguas superficiales en el río Coata (CoatM2)	97

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia “Evaluación de la calidad de las aguas superficiales del Río Coata, provincia San Román - Puno, 2024”	86
Anexo 02: Estándar de calidad ambiental (ECA) para agua	87
Anexo 03: Análisis de laboratorio	92

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad de las aguas superficiales de acuerdo a la concentración de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo-explicativo, con un diseño no experimental de corte longitudinal. La población estuvo conformada por el río Coata, del cual se extrajeron dos muestras de agua para su análisis. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos revelaron que la turbidez es (24.95 UNT en M1 y 24.86 UNT en M2), conductividad eléctrica (185.90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en M1 y 174.40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en M2), temperatura (17.10 °C en M1 y 17.50 °C en M2), sólidos totales disueltos (93.20 mg/L en M1 y 87.10 mg/L en M2), pH (7.35 en M1 y 8.31 en M2) y oxígeno disuelto (>6 mg/L en ambas muestras) cumplen con los límites permisibles. Sin embargo, se observaron excedencias en la DQO (110.20 mg/L en M1 y 94.10 mg/L en M2), DBO (44.08 mg/L en M1 y 64.00 mg/L en M2), nitrato (11.9 mg/L en M1 y 36.3 mg/L en M2), nitrito (1.07 mg/L en M1 y 1.04 mg/L en M2) y nitrógeno amoniacal (22.90 mg/L en M1 y 3.20 mg/L en M2), superando los límites establecidos. Respecto a los metales pesados, se registraron concentraciones superiores a los límites permisibles para aluminio (0.816 mg/L en M1 y 0.839 mg/L en M2), cadmio (<0.002 mg/L en ambas muestras), plomo (0.018 mg/L en ambas muestras) y mercurio (<0.0009 mg/L en ambas muestras). En contraste, los niveles de cromo (<0.004 mg/L), cobre (0.022 mg/L en M1 y 0.041 mg/L en M2), arsénico (0.011 mg/L en M1 y <0.005 mg/L en M2) y zinc (<0.05 mg/L) se mantuvieron dentro de los límites establecidos. En conclusión, la calidad de las aguas superficiales no se encuentran dentro de los parámetros del (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).

Palabras clave: Aguas superficiales, Metales pesados, Parámetros fisicoquímicos.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the quality of surface waters according to the concentration of physicochemical parameters and heavy metals in the Coata River, San Román Province - Puno, 2024. The study was developed under a quantitative approach, of a descriptive-explanatory type, with a non-experimental longitudinal design. The population consisted of the Coata River, from which two water samples were extracted for analysis. The results of the physicochemical parameters revealed that turbidity (24.95 UNT in M1 and 24.86 UNT in M2), electrical conductivity (185.90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in M1 and 174.40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in M2), temperature (17.10 $^{\circ}\text{C}$ in M1 and 17.50 $^{\circ}\text{C}$ in M2), total dissolved solids (93.20 mg/L in M1 and 87.10 mg/L in M2), pH (7.35 in M1 and 8.31 in M2) and dissolved oxygen (>6 mg/L in both samples) comply with the permissible limits. However, exceedances were observed in COD (110.20 mg/L in M1 and 94.10 mg/L in M2), BOD (44.08 mg/L in M1 and 64.00 mg/L in M2), nitrate (11.9 mg/L in M1 and 36.3 mg/L in M2), nitrite (1.07 mg/L in M1 and 1.04 mg/L in M2) and ammoniacal nitrogen (22.90 mg/L in M1 and 3.20 mg/L in M2), exceeding the established limits. Regarding heavy metals, concentrations higher than the permissible limits were recorded for aluminum (0.816 mg/L in M1 and 0.839 mg/L in M2), cadmium (<0.002 mg/L in both samples), lead (0.018 mg/L in both samples) and mercury (<0.0009 mg/L in both samples). In contrast, the levels of chromium (<0.004 mg/L), copper (0.022 mg/L in M1 and 0.041 mg/L in M2), arsenic (0.011 mg/L in M1 and <0.005 mg/L in M2) and zinc (<0.05 mg/L) remained within the established limits. In conclusion, the quality of surface waters is not within the parameters of (Supreme Decree No. 004-2017-MINAM).

Keywords: Surface waters, Heavy metals, Physicochemical parameters

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se observó un aumento desmesurado en la contaminación de los ríos, lo que se explicó por la falta de conocimientos en la mayoría de las empresas sobre el manejo adecuado de este recurso. Como consecuencia, se descargan grandes cantidades de sustancias contaminantes derivadas de sus operaciones industriales. A este problema se sumó el incremento de las temperaturas, el uso intensivo de pesticidas en la agricultura y el proceso continuo de deforestación. La ausencia de una cultura ambiental entre los seres humanos fue un factor determinante que contribuyó significativamente a la contaminación del agua, el suelo y el aire.

En Perú, la contaminación de los cursos de agua tuvo su origen principalmente en la explotación minera llevada a cabo en diversas regiones del país. Las aguas residuales contaminadas con altos niveles de metales pesados fueron generadas por la actividad minera a gran, mediana y pequeña escala. Además, la acción humana también incrementó la presencia de estos metales en el ambiente, siendo esta una de las principales razones detrás de las altas concentraciones de metales pesados en los ecosistemas. Dado que el suministro de agua es esencial para todas las actividades humanas, resultó crucial garantizar su calidad y mantener un monitoreo constante.

En la zona de la desembocadura del río Coata, se constató que este recurso hídrico era utilizado directamente, sin recibir ningún tratamiento previo, para el abastecimiento de agua de los animales de cría, el riego de cultivos e incluso para el consumo humano de las comunidades aledañas. La contaminación de la cuenca del río Coata tuvo su origen principalmente en sus afluentes principales, los ríos Lampa y Cabanillas. Desde sus orígenes, la contaminación se generó debido a la actividad humana y la explotación minera, tanto artesanal como mecanizada.

Se evidenció que la presencia de la unidad minera El Cofre – CIEMSA, en el distrito de Paratía, provincia de Lampa, departamento de Puno, contribuyó significativamente a la

degradación ambiental al verter aguas residuales en el río Paratía. Este río desembocaba en el río Verde, que a su vez confluye con el río Cabanillas. Al unirse el río Cabanillas con el río Lampa, se formaba el río Coata, el cual finalmente desembocaba en el lago Titicaca, agravando así la contaminación de este importante cuerpo de agua. Además, el reservorio de la mina Palca, pese a encontrarse inactivo en términos de explotación minera, también desempeñó un papel en la contaminación ambiental.

El crecimiento poblacional en la zona incrementó la generación de residuos sólidos y aguas residuales, afectando el equilibrio ambiental y la calidad de vida de las comunidades cercanas. Ante esta problemática, se consideró esencial realizar monitoreos periódicos para evaluar la contaminación del río. Los datos obtenidos permitieron promover un uso responsable del agua, fomentar la conciencia ambiental y mejorar el manejo de desechos y el tratamiento de aguas residuales, sirviendo además como base para decisiones en salud pública y protección ambiental.

La investigación se estructura en cinco capítulos. El Capítulo I expone el planteamiento del problema, los antecedentes y los objetivos de estudio. El Capítulo II desarrolla el marco teórico y conceptual, incluyendo las hipótesis a contrastar. El Capítulo III describe la metodología, detallando la zona de estudio, el tamaño de la muestra, los métodos y técnicas, así como las variables y herramientas estadísticas empleadas. Finalmente, el Capítulo IV presenta el análisis de los resultados obtenidos, apoyados en tablas y figuras.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel global, el agua se clasifica como un recurso renovable debido a que se renueva de forma continua mediante el ciclo hidrológico, que implica la evaporación, condensación y precipitación del agua en la atmósfera, así como el flujo de agua en ríos, lagos y océanos. Sin embargo, esto no implica que sea interminable de ninguna manera (UNESCO, 2018). El agua, siendo un recurso esencial para la vida, está presente en todas las tareas diarias de las personas, por lo tanto, es crucial que se le dé prioridad a su correcta gestión para asegurar la disponibilidad de agua y fomentar el progreso en las naciones (Vera et al., 2021). En la actualidad, la disponibilidad de agua es objeto de inquietud no sólo entre expertos científicos, especialistas en la materia o líderes políticos, sino también por toda la humanidad, que ha llegado a reconocer y comprender la relevancia que este recurso vital posee en la preservación de la vida en la Tierra. Hoy en día, la presencia de agua dulce es limitada, siendo un elemento vital para la supervivencia de los seres vivos y no existiendo ninguna alternativa posible para mantener la vida de todas las formas de vida en nuestro planeta (Velázquez, 2020).

El agua, presente en la Tierra de manera amplia, alcanza a cubrir el 70 % de toda la extensión terrestre con su presencia, pudiendo encontrarse en forma sólida como hielo, en forma gaseosa como parte del aire, y en formas líquidas tanto dulces como saladas en

la naturaleza. Únicamente una ínfima fracción, que equivale al 3 % de la cantidad total de agua existente, se presenta en estado líquido, mientras que el resto se encuentra en forma salobre. Sin embargo, la proporción de suministro, consumo o ingesta de agua asciende apenas al 0,025% (León, 2019). Es por eso que se recomienda hacer un uso prudente y consciente del agua. Se dice que el agua es un solvente ampliamente utilizado debido a su capacidad para disolver una amplia variedad de sustancias iónicas y mantenerlas mezcladas de manera uniforme, siempre y cuando estas sustancias sean solubles en agua. En consecuencia, el agua puede retener electrones, como el sodio y el magnesio, así como impurezas como metales pesados y microorganismos, incluidos los coliformes totales y las heces (Raffo, 2018).

Los elementos físicos, químicos y microbiológicos que se utilizan para describir y definir las características de un flujo de agua. La Organización Mundial de la Salud (2021) señala que al exceder los límites permitidos, ciertas sustancias pueden causar efectos negativos en la salud de las personas y en el medio ambiente. Según el informe, aproximadamente el 80 % de las enfermedades que son frecuentes en las regiones en desarrollo tienen una relación directa con la calidad del agua. Por lo tanto, es necesario cumplir con las normativas establecidas en cuanto a la calidad del agua, las cuales son de obligatorio cumplimiento según la autoridad competente (R. del P. Torres, 2018).

En Perú, este patrón se repite, lo que lleva a una reducción en la cantidad de agua apta para que las personas la consuman. Las fuentes naturales de agua y los diferentes cuerpos de agua están siendo impactados de manera más intensa a causa de estas circunstancias (Mayca, 2019). En el territorio peruano, una de las zonas que enfrenta múltiples desafíos relacionados con la contaminación es el departamento de Puno junto con sus respectivas provincias. Es crucial destacar que los ríos presentes en esta región han sido afectados por la contaminación debido a la descarga de aguas residuales no tratadas (Ríos et al., 2022).

El agua es esencial para la vida y el bienestar de la humanidad, así como para la preservación de los ecosistemas. La incorrecta gestión de las aguas superficiales provoca graves problemas ambientales. La mala calidad del agua en el Perú se debe al crecimiento de la población, la economía, la actividad industrial, la gestión deficiente de residuos (Salazar, 2020).

Los ríos Lampa y Cabanillas se unen para formar la cuenca del río Coata, donde son contaminados por actividades humanas como el vertimiento de aguas residuales y la minería (Martínez, 2022). La Unidad Minera el Cofre - CIEMSA en Paratía, Lampa, Puno, contamina al verter agua residual en el río Paratía, que desemboca en el río Verde, y luego en el río Cabanillas, formando el río Coata, que desagua en el lago Titicaca. Las minas Palca en Puno contaminan ríos con pasivos ambientales mineros, cambiando sus nombres a lo largo de su trayecto (Instituto Nacional de Recursos Naturales, 2019).

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuál es la calidad de las aguas superficiales de acuerdo a la concentración de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es la concentración de parámetros físico-químicos en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024?
- ¿Cuál es la concentración de metales pesados en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTES NACIONALES

Ñahui (2023), llevó a cabo una investigación con el objetivo de valorar el análisis y la calidad del agua destinada al consumo humano en los centros poblados de Yauli-Huancavelica, basándose en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Los

resultados en los centros poblados son los siguientes: en Izcumachay, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos cumplen con el DS N°004-2017-MINAM y son aptos para el consumo humano. En Villa Hermoza, los índices físico químicos son correctos, aunque las pruebas microbiológicas revelan coliformes totales en 55 (máximo 50) y coliformes fecales en 30 (máximo 30), mientras que el parámetro de *Escherichia coli* es óptimo. En Torre Ccacca, los parámetros fisicoquímicos son aptos, pero los microbiológicos presentan coliformes totales en 60 (máximo 50) y coliformes fecales en 25 (máximo 20), mientras que *Escherichia coli* se encuentra dentro de los límites permisibles. Finalmente, en Choca I, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos cumplen con el DS N°004-2017-MINAM y son aptos para el consumo humano.

Gutierrez (2023), realizó un estudio con el objetivo de evaluar la calidad del agua de las subcuencas Achamayo y Shullcas utilizando el índice de calidad CCME. La subcuenca Shullcas ha mostrado un índice de calidad de agua, conocido como ICA, de 46.2, lo que indica que la calidad del agua en esta área es considerada “marginal”. Este resultado se debe principalmente a la elevada presencia de coliformes termotolerantes y la bacteria *Escherichia coli* en el agua, lo que sugiere problemas significativos en su contaminación. Por otra parte, la subcuenca Achamayo presenta un ICA más favorable, alcanzando un valor de 67.8, que se clasifica como “regular”. De estos datos se puede concluir que la subcuenca Shullcas es la que ha sido más severamente afectada por los vertimientos provenientes de los municipios cercanos. Ante esta situación, se hace urgente la recomendación de establecer plantas de tratamiento para las aguas residuales, utilizando tecnologías adecuadas como lodos activados o lagunas de estabilización, con el fin de mejorar la calidad del agua en la región y mitigar los impactos negativos en el ecosistema local.

Chavez & Culqui (2022), desarrollaron un estudio para desentrañar la pureza del manantial que provee el agua vital para la comunidad del área de las flores en

Huambocancha Alta, Cajamarca, 2022. Se analizó la calidad del agua del manantial que provee a la comunidad de las Flores; según el ECA, los resultados muestran agua clasificable como 1 A1 y A2 por su pH, apta para potabilización convencional. Se analizaron las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y biológicos del manantial, reservorio y hogar en el sector las Flores centro poblado Huambocancha alta – Cajamarca, resultando: los parámetros fisicoquímicos conductividad eléctrica (23,6 a 25,1 uS/cm), oxígeno disuelto (6,2 a 6,6 mg O₂/L) y sulfatos (2,432 a 3,571 mg/L), mostraron valores dentro de lo establecido por el ECA. En los tres puntos de muestreo, el pH fue ligeramente ácido; también, los sólidos suspendidos totales, Nitritos, DBO₅ y DQO no mostraron valores en los tres puntos.

Quintero (2022), realizó un estudio con el propósito de evaluar el impacto ambiental ocasionado por el botadero municipal del distrito de Huanta en la calidad del suelo y agua, en el año 2020. Se concluyó que el impacto del botadero en los metales inorgánicos del suelo es mínimo, ya que los valores hallados están significativamente por debajo del estándar ECA, cumpliéndolo. Asimismo, se alcanzó un grado de acidez neutra con un pH de 7.44. Se observó un impacto negativo moderado del botadero en los parámetros físico-químicos del agua, con un cumplimiento del 67% en los indicadores medidos, encontrándose dos fuera del estándar ECA: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) con 18.4/15 y la demanda química de oxígeno (DQO) con 40/>40 (valor máximo). Se finaliza con un impacto medio en la calidad del agua y el uso del suelo, y un impacto bajo en las propiedades fisicoquímicas del suelo, causado por el vertedero.

Palomino (2022), realizó una investigación para medir la pureza del agua potable en el manantial Estange, ubicado en Patawasi, región de Checacupe, Cusco, utilizando dos sitios de muestreo: Estange 1 y Estange 2. El estudio Louis Pasteur, avalado por Inacal, ha llevado a cabo las pruebas de fisicoquímica y microbiología, mientras que AGQ Labs, respaldado por IAS, llevó a cabo los análisis de variables inorgánicas. Los

descubrimientos de la investigación revelan que el pH, la turbidez, la conductividad y los sólidos conjuntos disueltos corresponden a la pureza del hídrico en Estange 1 y Estange 2, mientras que la temperatura, la dureza, el oxígeno disuelto y la necesidad bioquímica de oxígeno no alcanzan esa excelencia. En lo que respecta a la microbiología, los coliformes totales no cumplen con la pureza del agua, pero el coliforme fecal o termotolerante sí lo hace en los manantiales Estange 1 y 2. La pureza del agua en los fuentes Estange 1 y Estange 2, conforme al decreto N.o 0004-2017-MINAM y el decreto N.o 0031-2010-SA, fue confirmada por los datos inorgánicos.

Juarez (2023), emprendió una investigación para desentrañar la pureza del caudal del río Moquegua. El estudio implicó examinar variables físicas, químicas y microbiológicas, tales como pH, conductividad, oxígeno disuelto, TDS y bacterias coliformes en las heces, tanto antes como a través de cruzar el río Moquegua desde Chacra hasta la feria de La Olla. En el estudio llevado a cabo, se examinó la pureza del río Moquegua en la zona del puente La Villa, abriendo la puerta a implementar medidas para disminuir la polución de desechos sólidos. Las investigaciones físicas, químicas y microbiológicas corroboraron que fue lanzado al río. Se exploraron bacterias alcalinas resistentes y bacterias diminutas coliformes a través de la metamorfosis del pH. Según el Estudio ECA DS, en el río Moquegua, desde Chacra hasta el mercado La Olla, se acumulan residuos comerciales que afectan la pureza del agua. 004-2017-decreto.

Castro (2019), desarrolló un estudio con la finalidad de determinar la calidad de agua que consume el Centro Poblado Mayor Puyucana del distrito de Baños del Inca. El análisis concluye que el agua no es apta para el consumo directo. El sistema de potabilización del Distrito de Puyucana es ineficaz, ya que aplica cloración por goteo en el reservorio, lo que produce escasa homogeneización entre el cloro y el agua, resultando en desinfección limitada a una parte del reservorio. De igual forma, el agua potable del distrito de Puyucana cumple los parámetros físico-químicos dentro de los límites máximos

permitidos. En cambio, se detectó una falta en los parámetros microbiológicos, lo que hace que excedan los límites permitidos, lo que significa que el agua no es apta para el consumo directo.

Mayca (2019), desarrolló un estudio con el objetivo de determinar la calidad del agua del río Rímac, ubicado en el Distrito de Chicla, provincia de Huarochirí, Departamento de Lima. El análisis reveló que las concentraciones de los parámetros físico-químicos de pH, oxígeno disuelto y conductividad están por debajo del ECA estipulado para agua categoría I – A2. Del mismo modo, las concentraciones de Arsénico, Aluminio, Cobre, Antimonio, Cadmio, Hierro, Zinc y Plomo están por debajo del ECA para agua categoría I – A2, excepto el Manganeseo, que muestra valores de 2.108 mg/L (EM-07-A) y 2.105 mg/L (EM-07-B), superando el ECA para agua. 187 Los niveles microbiológicos (Coliformes Termotolerantes y Totales) son inferiores al ECA para agua categoría I – A2, alcanzando 240 NMP/100ml (EM-07-A), 79 NMP/100ml (EM-07-B) en coliformes termotolerantes, y 540 NMP/100ml (EM-07-A), 130 NMP/100ml (EM-07-B) en coliformes totales.

Salazar (2019), desarrolló una investigación con el propósito de evaluar el impacto de las aguas residuales sobre la calidad del agua del río Tarma. Se examinaron los datos más significativos, y con los resultados se realizó un análisis estadístico que reveló las fuentes esenciales y los ámbitos críticos de polución del río Tarma. En la fase final de la experimento, se confrontaron los resultados con el Estándar de Nivel Ambiental ECA–Agua - Nivel 3, para desentrañar los datos a través del sofisticado programa SPSS y corroborar las teorías formuladas. Al concluir la investigación sobre cómo las aguas afluentes impactan en la pureza del río Tarma, se proponen múltiples opciones para combatir la polución.

1.2.2. ANTECEDENTES REGIONALES

Quispe (2024), llevó a cabo un estudio con el objetivo de evaluar la calidad de agua subterránea para consumo humano en la comunidad Carata, distrito de Coata. Se

concluye que, tras el análisis, no son adecuadas para el consumo humano directo; no obstante, es posible potabilizar las mediante propuestas de saneamiento básico familiar, dado que los contaminantes en el agua no superan los límites permisibles. Los valores de las aguas subterráneas superan los límites máximos permitidos según las muestras de cada pozo evaluado conforme al reglamento de calidad de agua para el consumo humano D.S. N° 031-2010-SA. En comparación con los límites máximos permitidos según la normativa vigente, las aguas subterráneas en la comunidad campesina de Carata, en el distrito de Coata, muestran contaminantes como arsénico, con niveles en las muestras M1 (0.001787 mg/L), M5 (0.01558 mg/L) y M2 (0.1065 mg/L), que exceden el límite permitido de 0.01 mg/L. En cuanto al aluminio, las muestras M1 (0.22 mg/L) y M2 (0.40 mg/L) sobrepasan los valores establecidos de 0.2 mg/L, y en hierro, las muestras M2 (0.404 mg/L) y M5 (0.631 mg/L) también rebasan el estándar de 0.3 mg/L.

Coila (2022), elaboró un estudio con el objetivo de evaluar el nivel de la calidad del agua en la zona de confluencia de los ríos Torococha y Coata, Caracoto, San Román, Puno. Se concluye que la calidad del agua en la confluencia de los ríos Torococha y Coata está contaminada, fundamentalmente por residuos de Juliaca, según los valores obtenidos de parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad y sólidos totales suspendidos; este último supera los valores, siendo M2 el que presenta los mayores valores, por lo que no es adecuado para consumo doméstico ni actividades pecuarias. Los análisis del nivel de carga orgánica en las 3 muestras muestran los valores más altos: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) M2, 98 mg/l; Coliformes M2, 49000 NMP/100ml; Conductividad M1, M2, M3, 2140 uS/cm; Demanda Química de Oxígeno (DQO) M2, 216 mg/l; Sólidos Suspendidos Totales (SST) M2, 29 mg/l; Aceites M2, 10.3 mg/l; Bicarbonatos M2, 696.99 mg/l.

Ortega (2022), desarrolló un estudio con el propósito de evaluar la calidad del río Coata aplicando el método ICARUS, Juliaca - 2022. Mostrando que la calidad del río Coata en

ambos periodos sobre los parámetros analizados reveló que en ciertos lugares como los puntos 1, 2 y 3 del primer periodo hubo un exceso de DBO, DQO y OD superando los ECA del D.S. N° 004-2017-MINAM. En el periodo 2, los puntos 1 y 2 mostraron un exceso de Oxígeno disuelto, mientras que el punto tres excedió en DBO y DQO. • El río Coata recibió principalmente calificaciones de Bueno, con valores de 94.135, 88.71 y 91.23 en los puntos 1, 2 y 3, indicando que la calidad se desvía de lo ideal, pudiendo haber daños mínimos. Sin embargo, en el punto 3, el periodo 1 obtuvo una calificación Regular de 72.14, igual que el periodo 2 con 65.79, señalando que la calidad a menudo se aleja de lo deseado y requiere tratamiento.

Rojas (2021), realizó un estudio con el objetivo de determinar la variación de la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata por comparación en la red de monitoreo utilizando el índice ICA-PE. Se ha concluido que en la Unidad Hidrográfica Coata, las formaciones geológicas contienen rocas sedimentarias volcánicas y volcano-sedimentarias, cuya antigüedad abarca desde la Formación Calapuja (Paleozoico Ordovícico Superior) hasta la Formación Azángaro (Cenozoico Plioceno-Pleistoceno), localmente cubiertas por depósitos recientes poco consolidados del Cuaternario-Holoceno; destacándose diferencias entre la cuenca alta, con predominio de rocas volcanosedimentarias que han facilitado la mineralización, la cuenca media compuesta mayormente de rocas sedimentarias y la cuenca baja con predominancia de unidades del Cuaternario.

Siguairo (2019), desarrolló un estudio con el objetivo de evaluar la calidad físico, químico y bacteriológico de las aguas del río Choquechaca, lago Wiñaymarca y la captación por EMAPA-Yunguyo. Se establece que la temperatura del río Choquechaca es 12.96°C, lago Wiñaymarca 16.16°C, captación por EMAPA-Yunguyo 16.18°C, en temporada de lluvias 15.92°C y en temporada seca 14.29°C. Los parámetros analizados cumplen con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la categoría 1(A2) y 4(E1,

E2), y el análisis estadístico muestra diferencia ($p < 0.05$). De igual manera, la conductividad eléctrica del río Choquechaca es $0.09 \mu\text{S/cm}$, la del lago Wiñaymarca es $1.46 \mu\text{S/cm}$ y la captación de EMAPA-Yunguyo es $1.95 \mu\text{S/cm}$; mientras que en época seca es $1.15 \mu\text{S/cm}$ y en época lluviosa $1.19 \mu\text{S/cm}$. Así, se ajusta a las Normas de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la categoría 1(A2) y 4(E1, E2). Estadísticamente existe diferencia ($p < 0.05$).

Lopez (2019), desarrolló una investigación con el objetivo de evaluar la calidad del agua y comparar con los estándares de calidad ambiental para agua categoría tres, para demostrar si es apto para el uso agrícola, en la subcuenca del río Challamayo, Tiquillaca Puno. Se llevó a cabo una evaluación detallada de los parámetros de pH y conductividad eléctrica (CE) en los diez puntos de muestreo seleccionados a lo largo del río Challamayo. Como resultado de este análisis, se observó que los niveles de pH durante los meses de enero y febrero superan los límites establecidos en los estándares de calidad ambiental (ECA) que son requeridos para su uso en actividades agrícolas. En consecuencia, esto indica que las condiciones del agua en ese periodo no son adecuadas ni apropiadas para el riego de cultivos. De manera similar, durante el mes de marzo, se observó que un 80 por ciento de las entidades o individuos no lograron cumplir con los estándares establecidos por el ECA. Asimismo, en el mes de abril, esa cifra se redujo ligeramente, pero aún así, un 70 por ciento no cumplió con los requisitos del ECA. En cuanto a la calidad del agua en relación con la Conductividad Eléctrica (CE), se observó que en los únicos aspectos en los que se superaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos para las aguas destinadas a riego, fueron en dos puntos específicos. Estos puntos son el PM-4, que registró un valor de 2.72 mS/cm , y el PM-5, que alcanzó un nivel de 3.23 mS/cm , ambos localizados en el afluente conocido como Coltamayo. Como consecuencia de esta situación, también se registró en el PM10, que se encuentra en la parte baja de la subcuenca, un valor de 2.61 mS/cm .

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la calidad de las aguas superficiales de acuerdo a la concentración de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la concentración de parámetros físico-químicos presentes en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.
- Determinar la concentración de metales pesados presentes en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. EL AGUA

El agua se considera el componente más fundamental y esencial para la existencia de toda forma de vida en nuestro planeta. Es absolutamente fundamental para la supervivencia del ser humano, así como para todos los demás animales y organismos vivos que habitan nuestro hermoso planeta tierra, el agua es un recurso esencial. Sin embargo, debemos reconocer que también es un recurso frágil y vulnerable, ya que nuestras acciones como seres humanos han llevado a un deterioro significativo del agua potable a causa de la contaminación que generamos (Olaya et al., 2022). El setenta por ciento de la superficie terrestre está formado por agua, y de manera similar, el setenta por ciento de la composición del cuerpo humano también está basado en agua. Esto nos lleva a concluir que el agua tiene una enorme importancia en nuestras vidas. Su consumo es altamente recomendado, ya que desempeña un papel crucial en múltiples funciones del organismo. Por ejemplo, el agua nos asiste en la absorción de nutrientes y en la eliminación de desechos del cuerpo. Además, contribuye a una digestión eficiente y se encarga de distribuir los nutrientes esenciales a través del torrente sanguíneo a todas las partes del cuerpo. También juega un papel importante en la reducción de problemas cardíacos y en el mantenimiento de nuestra salud en general, entre otros beneficios. Asimismo, es fundamental destacar que su relevancia para las diversas especies de

plantas que existen en nuestro planeta es notable, ya que entre un 70% y un 90% de ellas dependen del agua que proviene de las precipitaciones de lluvia o del riego complementario (Perugachi & Cachipundo, 2020).

El agua, un líquido que no posee color, no tiene olor y carece de sabor, está compuesta por la combinación de dos átomos de hidrógeno que se encuentran unidos a uno de oxígeno. La fórmula química que representa esta sustancia esencial para la vida es H₂O. Además, las moléculas de agua se conectan entre sí gracias a un fenómeno conocido como puentes de hidrógeno. Es interesante destacar que la densidad máxima del agua alcanza un valor de 1 gramo por centímetro cúbico cuando la temperatura se sitúa en 4 grados Celsius. Las fluctuaciones en las temperaturas tanto de evaporación como de solidificación proporcionan la posibilidad de que el agua pueda existir en varios estados físicos diferentes, incluyendo los estados sólidos, que abarcan el hielo, la nieve y el granizo, así como el estado líquido y el estado gaseoso, que incluye componentes como el aire y el vapor de agua. Es importante señalar que el agua alcanza su punto de congelación a una temperatura de 0 grados Celsius, mientras que su punto de ebullición se sitúa en 100 grados Celsius (Marsily, 2005).

2.1.1.1. Características del Agua

El agua posee un extraordinario y elevado calor específico, lo que significa que puede absorber y retener una gran cantidad de calor sin experimentar cambios significativos en su temperatura. Además, cuenta con un alto calor latente de evaporación, lo que implica que se necesita una considerable cantidad de energía en forma de calor para romper los enlaces de hidrógeno que mantienen unidas a las moléculas de agua en su estado líquido. Esta propiedad del agua es fundamental para su comportamiento y rol en procesos naturales y climáticos (Colavita, 2021). Las características del agua en cuanto a la necesidad de calor y su capacidad para retenerlo crean un entorno que resulta ser considerablemente más estable en comparación con las condiciones que se observan en

los ecosistemas terrestres. La viscosidad del agua, que es una medida de su resistencia al flujo, se ve significativamente afectada por la temperatura en la que se encuentra, siendo esta la influencia más notable. Además, en menor medida, la salinidad del agua también juega un papel en la determinación de su viscosidad. Es interesante destacar que, a medida que la temperatura del agua aumenta, la viscosidad tiende a disminuir. Por ejemplo, cuando se compara el comportamiento del agua a temperaturas más bajas, se puede observar que su viscosidad se duplica cuando la temperatura desciende desde un nivel de 25 grados Celsius hasta alcanzar los 0 grados Celsius (Pinedo, 2022a).

2.1.1.2. Propiedades del Agua

- **Físicas:** El agua es un líquido sin olor ni sabor, presenta un color azul al estar en grandes cantidades. Con una presión atmosférica de 760 mm. En mercurio, el agua pura se funde a 0°C y hierve a 100°C, cristaliza en hexagonal, se llama nieve o hielo según su forma, se expande al congelarse, por lo que el hielo es menos denso que el agua y flota en ella. El agua tiene su densidad máxima a 4°C, que es de 1g/cc. Su capacidad térmica es mayor, con un calor específico de 1 cal/g °C, lo que implica que una masa de agua puede almacenar o liberar grandes cantidades de energía, afectando el clima (las extensas masas de agua en los océanos tardan más en calentarse y enfriarse que la tierra) (Rojas, 2018).
- **Química:** La notable y excepcional relevancia de este tema, cuando se analiza desde la perspectiva de la química, radica en el hecho de que prácticamente la totalidad de los procesos químicos que se desarrollan en la naturaleza, no solo dentro de los organismos vivos, sino también en la superficie caótica de nuestro planeta, así como aquellos que se realizan en entornos de laboratorio y en diversas actividades industriales, ocurren en medio de sustancias que están disueltas en agua. Generalmente, se afirma que el agua es reconocida como el disolvente universal debido a su capacidad única, ya que casi todas las sustancias, en alguna

forma, tienen la posibilidad de disolverse en ella. Este compuesto carece de características ácidas o básicas, lo que significa que no exhibe propiedades que lo clasifiquen en ninguno de esos dos grupos. Sin embargo, tiene la capacidad de combinarse con ciertas sales, lo que da lugar a la formación de hidratos. Además, cuando este compuesto interactúa con los óxidos de metales, puede dar lugar a la formación de ácidos. Por si fuera poco, también desempeña un papel importante al actuar como catalizador en una amplia variedad de reacciones químicas (Zambrano, 2023).

2.1.1.3. Aguas Superficiales

Las aguas superficiales se refieren al conjunto de cuerpos de agua que se localizan en la parte superior de la superficie terrestre. Esto incluye diversos elementos acuáticos como ríos, lagos, embalses y manantiales. Cuando estas fuentes de agua están presentes en cantidades adecuadas y suficientes, se convierten en una valiosa fuente de abastecimiento para satisfacer las necesidades de consumo humano. Las distintas características que presenta el agua están influenciadas de manera directa por las propiedades del terreno sobre el cual fluye. Esto se debe a que la estructura molecular del agua, que posee un carácter bipolar, le otorga una notable capacidad para disolver diversas sustancias. Por lo tanto, al atravesar o estar en contacto con los diferentes materiales que componen el suelo, el agua adquiere y refleja esas propiedades específicas (Arpi & Yunga Guamán, 2017).

- **El Lago:** Se define como un depósito natural de agua aquel que se encuentra situado en una zona deprimida del terreno, donde se recogen diferentes fuentes de agua, ya sean pluviales, provenientes de ríos o subterráneas. Este tipo de acumulación de agua se produce gracias a diversas influencias, como las surgencias naturales o el derretimiento de glaciares, generando así un almacenamiento

considerable debido a la inclinación y la característica topográfica del área circundante.

- **El río:** Se refiere al flujo constante y continuo de agua que se desplaza a lo largo de un valle, donde va esculpiendo y formando su propio lecho o cauce a lo largo del tiempo. Este fenómeno natural se distingue especialmente por la variedad de cuerpos de agua que atraviesa, los cuales pueden extenderse desde distancias relativamente cortas de algunos kilómetros hasta impresionantes longitudes que alcanzan miles de kilómetros. Las corrientes fluviales cuentan con una cabecera, que es su punto de origen, y una desembocadura, que representa el lugar donde el agua desemboca. Esta última puede encontrarse en diversas ubicaciones, como una cuenca lacustre o marina, también puede verterse en otro río, o incluso puede situarse en una región árida, donde frecuentemente se convierte en un río ciego, es decir, un río que no llega a un cuerpo de agua mayor. La fuente de su alimentación puede originarse en las precipitaciones de lluvia, la acumulación de nieve, el deshielo de los glaciares, así como también en las aguas que se encuentran en los acuíferos subterráneos. Cada río cuenta con un punto de origen conocido como la naciente, la cual se localiza en las elevadas montañas que lo rodean. En ese lugar específico, todos los pequeños riachuelos convergen y se combinan para dar origen a arroyos más grandes o a quebradas. Cuando los distintos canales se reúnen y se agrupan, juntos dan lugar a la formación del río. Casi todos los ríos tienen a su disposición afluentes que se integran a ellos, o bien, ellos mismos funcionan como afluentes que desembocan en ríos de mayor envergadura. Esta interconexión y la convergencia de las corrientes fluviales se conoce con el término de cuenca hídrica (Pinedo, 2022b).

2.1.1.4. Características de las Aguas Superficiales

Para que el agua pueda considerarse de calidad óptima y adecuada para el consumo humano, es fundamental que presente características agradables al gusto y que esté libre

de cualquier color, turbidez, sabor indeseable y olores desagradables. Esto implica que los sentidos involucrados, como la vista, que evalúa el color y la turbidez, así como el gusto, el olfato y el tacto, que perciben elementos tales como la temperatura y la viscosidad del agua, deben ser capaces de detectar que el agua es clara, fresca y placentera en todos estos aspectos sensoriales. Si se toma en cuenta una de las características que hacen que este lugar sea especial, que es el agradable y reconfortante sonido que producen las corrientes de agua al fluir, entonces se puede concluir que la atracción sensorial que experimenta una persona en este entorno es absolutamente total y envolvente (Vargas & Yaranga, 2024).

2.1.1.5. Contaminación de las Aguas

La polución de las aguas dulces tiene un efecto adverso significativo en la salud de los seres humanos, así como en la de las plantas y los animales. Esto resalta la importancia crucial que tiene la salud ambiental en nuestra existencia. De hecho, diversos factores ambientales desempeñan un papel determinante en la carga global de enfermedades que afecta a poblaciones específicas, lo que pone de manifiesto la necesidad de cuidar y proteger nuestro entorno para garantizar el bienestar general. La contaminación que comúnmente se encuentra en los cuerpos de agua puede tener diversas fuentes, incluyendo tanto factores bióticos como químicos. En particular, la contaminación de origen biótico está relacionada con la presencia de una amplia gama de microorganismos patógenos que llegan a las fuentes de agua. Esta llegada indeseada de patógenos se debe, en gran medida, a la inadecuada gestión y disposición de desechos orgánicos, lo que resulta en un deterioro de la calidad del agua (Torre, 2015).

La contaminación se define como un tipo de desequilibrio que se produce en los ecosistemas debido a la introducción y presencia de ciertas sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas, que se encuentran en concentraciones específicas. Estas concentraciones pueden ser tan elevadas que terminan impactando negativamente la

calidad y la composición del agua en dichos ecosistemas. La degradación de la calidad del agua como resultado de la contaminación es, sin duda, uno de los problemas más serios y preocupantes que afronta el país en la actualidad. Las principales razones que se han identificado como causantes de este problema incluyen la contaminación generada por actividades industriales, el uso de agroquímicos en la agricultura, la extracción de minerales a través de la minería, entre otros factores relevantes (Esquivel & Maritza, 2012).

2.1.1.6. Actividades Humanas y su Relación con la Calidad del Agua

La manera en que el ser humano ha utilizado la tierra de manera indebida, especialmente al llevar a cabo la deforestación y eliminar grandes extensiones de bosques, ha resultado ser la causa primordial que afecta directamente el caudal de los ríos. En otras palabras, esto se manifiesta en la velocidad con la que se lleva a cabo la evacuación del agua, así como en las características y pureza de dicha agua. La llegada de aguas que se encuentran contaminadas ocurre gracias a dos procesos distintos. En primer lugar, tenemos las aguas pluviales, que son aquellas que caen como lluvia y que, al desplazarse sobre la superficie del suelo y también a través del subsuelo, entran en contacto con él. Durante este recorrido, estas aguas arrastran diversos subproductos derivados de las actividades realizadas por el ser humano, lo que provoca una alteración en su calidad original y natural. En segundo lugar, existen las aguas que, tras haber sido utilizadas y haber experimentado cambios en sus características físico-químicas, son devueltas y reintroducidas a los cuerpos de agua naturales que nos rodean (Ascencio, 2011).

2.1.2. CALIDAD DE AGUA

La calidad del agua está directamente relacionada con el fin específico para el cual se utiliza, de modo que distintos usos del agua indican la idoneidad y conveniencia de un determinado cuerpo de agua. Se establece o determina en base a un conjunto que

incluye una serie de características tanto fisicoquímicas como microbiológicas que pueden variar, además de considerar los diferentes valores que se consideran aceptables o inaceptables. La evaluación de la calidad físico-química del agua depende de la identificación y cuantificación de ciertas sustancias químicas específicas que tienen el potencial de impactar negativamente en la salud humana y en el medio ambiente (Editores, 2017).

El agua tiene una variedad de características distintivas que la convierten en un recurso excepcional, dependiendo del entorno en el que se encuentre y de los métodos específicos utilizados para su obtención y producción. Las características mencionadas son evaluadas y categorizadas de acuerdo con los diferentes tipos biológicos y fisicoquímicos que están presentes en el agua, lo cual juega un papel crucial en la determinación de su calidad y en su aptitud para diversos usos. Una gran cantidad de componentes tanto microbianos como químicos que se encuentran en el agua potable tienen el potencial de causar lesiones o perjudicar la salud de los seres humanos. De manera similar a lo que ocurre con el agua bruta, el proceso de localizar dicha fuente puede resultar ser un desafío considerable, ya que puede ser no solo demorado, sino también complicado y con un costo significativamente alto. Esta situación, a su vez, restringe las ventajas que ofrece para la implementación de sistemas de alerta temprana, convirtiéndola en una opción que muchas veces es financieramente inaccesible (Cárdenas, 2022).

Debido a que resulta inviable tanto desde una perspectiva física como desde un enfoque práctico en el ámbito económico llevar a cabo un análisis exhaustivo de todos los parámetros relacionados con la calidad del seguimiento, así como de los recursos que se utilizan en este proceso, es fundamental que se enfoque la atención en las características que son verdaderamente significativas o que poseen una importancia crítica. En un enfoque diferente, es importante mencionar que existen ciertas características que,

aunque no están directamente vinculadas a la salud, pueden afectar de manera considerable la calidad del agua, lo cual puede resultar perjudicial (Sierra, 2021).

2.1.2.1. Calidad microbiológica del agua

Parece que, con frecuencia, las pruebas microbiológicas son la única herramienta utilizada para confirmar y evaluar la calidad microbiológica del agua. Esto es sorprendente, considerando que la contaminación microbiana representa uno de los problemas de salud pública más comunes y extendidos en todo el mundo, especialmente en lo que respecta al agua potable. Como resultado de lo anterior, es fundamental que las bacterias indicadoras no se encuentren presentes en el agua que se destina al consumo humano, ya que esto puede representar un riesgo para la salud (OMS, 2022). En la mayoría de los casos, se realiza un análisis del examen de microorganismos que son indicadores de la contaminación fecal. Sin embargo, en ciertas circunstancias específicas, este procedimiento puede también incluir la evaluación y estimación de las concentraciones presentes de ciertos agentes patógenos específicos que podrían representar un riesgo para la salud. El proceso de análisis microbiológico tiene la importante tarea de llevar a cabo una evaluación detallada de la presencia de diversos microorganismos, incluyendo bacterias, virus y parásitos. Sin embargo, es importante destacar que las normativas legales varían en función del país, lo que significa que cada una de ellas puede establecer requerimientos distintos. En muchos casos, estas regulaciones se enfocan principalmente en el control de ciertos tipos de bacterias, tales como las coliformes y *Escherichia coli*, dejando quizás de lado otros microorganismos que también podrían tener relevancia en la salud pública y en cuestiones de seguridad alimentaria (Lanza & Hernández, 2000).

2.1.2.2. Calidad química del agua

El análisis microbiológico que se lleva a cabo tiene la responsabilidad de examinar una variedad de microorganismos, que incluyen tanto bacterias como virus y parásitos. Sin

embargo, es fundamental tener en cuenta que las leyes y regulaciones pueden variar significativamente de un país a otro. En muchas circunstancias, la normativa se enfoca principalmente en la vigilancia y control de ciertos tipos de bacterias, tales como los coliformes y la *Escherichia coli*, dejando de lado el estudio de otros microorganismos. Se ha reconocido ampliamente que no todos los distintos compuestos químicos para los cuales se elaboraron valores de referencia se encuentran dentro del mismo sistema de suministro de agua. En realidad, cada uno de estos compuestos es único y está influenciado por diversos factores, como la ubicación geográfica y la dispersión del agua de la que provienen. Esto significa que el contexto en el que se encuentra cada compuesto juega un papel crucial en su presencia y concentración en los distintos sistemas de suministro. Además, es importante señalar que existe una situación opuesta; en ciertos lugares específicos, pueden existir criterios que se asocian comúnmente con el agua proveniente de esa región particular. Sin embargo, es posible que estos criterios no estén contemplados dentro de las regulaciones establecidas (Rivas, 2013).

2.1.2.3. Parámetros de Calidad del Agua

Los principales parámetros que se utilizan para medir la calidad del agua representan de manera significativa la función tanto física como biológica del entorno natural que interacciona con dicha agua. Se consideran diversos parámetros tanto físicos como químicos, que son fundamentales para llevar a cabo un análisis exhaustivo. La tonalidad del agua, el pH, la turbidez, la conductividad eléctrica, la temperatura del líquido y la presencia de sólidos totales en su composición. Adicionalmente, se miden los niveles de nitritos y nitratos, el nitrógeno amoniacal presente, el fósforo total, los cloruros, y las demandas química y bioquímica de oxígeno. Por último, se toma en cuenta también la cantidad de oxígeno disuelto que existe en el medio. Los distintos parámetros que se utilizan para evaluar la calidad microbiológica incluyen tanto la cantidad total de

coliformes como los coliformes termotolerantes. Motivos por los cuales se lleva a cabo un análisis detallado de cada uno de estos parámetros (Chacón, 2017).

Estos parámetros son herramientas que permiten realizar mediciones de manera sencilla y eficiente, y además representan una forma de clasificar diversos factores que podrían ejercer estrés sobre la salud del ecosistema acuático. Asimismo, contribuyen a la caracterización de la calidad del agua, lo que a su vez permite evaluar los posibles impactos negativos que estas condiciones pueden tener tanto en la vida acuática como en la salud de los seres humanos (Weber, 2021).

A. Parámetros Físicos del Agua

- **Color verdadero:** El color se define como la habilidad de un objeto para absorber determinadas radiaciones que pertenecen al espectro de luz visible. Hay una gran variedad de causas que pueden influir en este fenómeno, y en consecuencia, no es posible asignar la responsabilidad o atribución de manera exclusiva a un solo constituyente. Sin embargo, existen ciertos colores específicos en las aguas que pueden ofrecer una indicación sobre las causas que los generan, especialmente en lo que respecta a los cuerpos de agua naturales. El agua que se considera pura presenta una característica notable de ser prácticamente incolora, es decir, carece de color visible. Sin embargo, en condiciones específicas, cuando se encuentra en grandes volúmenes o espesores, puede manifestar una apariencia que tiende a ser azulada. Se pueden clasificar los colores en dos categorías distintas: el color verdadero, que es el que se percibe directamente y tiene características físicas específicas, y el color aparente, que es el que se observa debido a condiciones de iluminación o ciertos efectos ópticos. La primera opción o aspecto que se menciona proviene de la existencia en la solución de una variedad de sustancias, que incluyen iones metálicos que son de origen natural, así como humus y también materia orgánica que se encuentra en estado disuelto. El segundo tipo se refiere a aquellos

componentes que se originan a partir de las sustancias que están disueltas, como es el caso de la materia que se encuentra en suspensión dentro de un líquido. La medición se realiza utilizando unidades de platino cobalto, también conocidas como unidades de Pt/Co, y esta evaluación se basa en una concentración de 1 miligramo por litro de Pt/Co (Torres & Coronación, 2021).

- **Turbidez (UNT):** La contribución de los desechos que contienen elevadas concentraciones de sólidos en suspensión al agua genera un obstáculo que impide de manera efectiva la penetración adecuada de la luz solar en el medio acuático. Esta limitación en la luz, a su vez, reduce significativamente la incorporación de oxígeno disuelto, un proceso que es fundamentalmente impulsado por la fotosíntesis. Como resultado de estas alteraciones, se produce un impacto negativo en la calidad del agua y en la productividad general de los ecosistemas acuáticos. Aunque la turbidez no ejerce un efecto directo y evidente sobre la salud de las personas, sí tiene un impacto significativo en los procedimientos de tratamiento del agua. Esto se debe a que las partículas que se encuentran en suspensión, así como los coloides que incluyen materiales como arcilla, limo, tierra, y una mezcla tanto de materia orgánica como inorgánica, así como compuestos orgánicos, plancton y otros tipos de microorganismos, pueden complicar la capacidad del agua para permitir el paso de la luz. Esta opacidad generada por dichas partículas puede afectar negativamente la eficiencia de los procesos de purificación del agua, lo que resalta la importancia de controlar la turbidez en el tratamiento de recursos hídricos (Suárez & Vargas, 2023).
- **Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$):** La conductividad eléctrica es un indicador que refleja la cantidad de actividad eléctrica que es transportada por los iones presentes en una solución. Este valor, que se obtiene a través de mediciones específicas, se utiliza como un parámetro alternativo para estimar la concentración total de sólidos disueltos en la misma, proporcionando así información valiosa sobre la composición

de la solución. La conductividad es una cifra que revela la destreza de una alternativa para transportar o mover una alimentación eléctrica. Esta característica se mide y se manifiesta en magnitudes denominadas microsiemens por centímetros, conocidas como $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Torres, 2020).

- **Temperatura (°C):** La temperatura es crucial; su valor determina la calidad del agua para proteger la vida acuática y las fuentes de agua potable. Las altas temperaturas del agua indican actividad biológica, química y física, además de ser clave en la evaluación inmunológica, por lo que es esencial medir la temperatura para detectar compuestos y contaminantes. Este aumento en la temperatura puede provocar cambios en las especies de peces en un cuerpo de agua superficial. El agua fría resulta incómoda e incluso riesgosa pues puede afectar la mucosa digestiva. El clima y la topografía afectan las propiedades lumínicas y térmicas de un cuerpo de agua. La variación de temperatura afecta notablemente el rendimiento de plantas y animales (Ccora, 2022).
- **Sólidos Totales Disueltos (STD):** Conforman sales inorgánicas (como el calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos), así como diminutas porciones de materia orgánica disuelta en el agua, originadas por fuentes naturales, aguas residuales y escurrentía, las cuales pueden deteriorar la pureza del agua, provocando un mal sabor y provocando procesos fisiológicas desagradables en los usuarios. Las aguas geotérmicas tienen un elevado contenido de sólidos totales disueltos, lo que indica filtraciones o descargas en manantiales superficiales (García & Tucto, 2020).

B. Parámetros Químicos del Agua

- **Potencial de Hidrógeno (pH):** La prueba del pH es una medición clave y común en el análisis del agua. Se expresa comúnmente a través de la concentración del ion hidrógeno en solución, la cual se mide instrumentalmente con un medidor de pH. El

pH del agua afecta su gusto y corrosividad, la efectividad del cloro para bacterias y su capacidad para disolver metales en las instalaciones. Un pH inadecuado reduce la calidad al incrementar el color y la turbidez. Los pH inferiores a 7 son aguas ácidas que promueven corrosión, mientras que los superiores se consideran básicos y pueden causar precipitación de sales insolubles. El pH cambia con la temperatura (Rojas, 2018)

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación de materia orgánica e inorgánica en agua, expresada en mg/L y usando un oxidante (dicromato potásico). En general, mantiene una buena conexión con la DBO. La DQO siempre supera la DBO5 debido a que ciertas compuestos orgánicas pueden ser oxidadas químicamente, sin intervención biológica, y abarcan elementos orgánicos como carbohidratos, proteínas, aceites y inorgánicos como hierro ferroso, nitritos, amoníaco, sulfuros y clorhidratos (Huarcaya & Toribio, 2021).
- **Fósforo Total (PT):** El fósforo se considera un elemento fundamental e indispensable para la existencia de la vida en nuestro planeta, ya que juega un papel crucial en procesos como el crecimiento de algas y el desarrollo de diversos organismos biológicos que habitan en ecosistemas acuáticos y terrestres. Su exceso provoca eutrofización. La determinación se lleva a cabo transformando todas esas sustancias en ortofosfatos, que son los compuestos que se analizan mediante técnicas de análisis químico. La manera en que se distribuyen diversas especies de fosfatos en un entorno específico está profundamente influenciada y determinada por el nivel de pH presente en ese medio. La única forma inorgánica del fósforo que posee una importancia significativa en diversos contextos es el ortofosfato, cuyo compuesto químico se representa con la fórmula PO_4^{3-} (Mamani, 2022).
- **Óxidos Disueltos (OD):** Es la cantidad de oxígeno en el agua, y se considera un indicador de su calidad; si el agua está contaminada contiene microorganismos,

bacterias y materia orgánica. Una disminución del oxígeno disuelto indica mala calidad del agua. Las concentraciones de oxígeno disuelto deben medirse in situ, pues pueden variar rápidamente. La disminución de oxígeno en altitudes elevadas se equilibra con temperaturas más bajas y al contrario. La cantidad de oxígeno disuelto en ríos se basa en la altitud, temperatura, descomposición de materia orgánica y el continuo movimiento del agua por oleajes. El proceso de fotosíntesis en plantas acuáticas también genera oxígeno disuelto, sustituyendo el dióxido de carbono. La aireación, turbulencia y movimientos del agua también generan oxígeno en el agua (Cesar & Ataucusi, 2023).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Se denomina demanda bioquímica de oxígeno a la cantidad de oxígeno en mg/l que consume un líquido contaminado por la descomposición de materia orgánica mediante acción microbiana aerobia, es decir, el oxígeno usado por la materia oxidable en el agua en condiciones específicas. Es la cantidad de oxígeno por volumen requerida para la oxidación de materia orgánica o sustancias aeróbicas (degradación por microorganismos). La DBO permite observar la carga de agua en materia orgánica y su capacidad de autodepuración, de la cual se puede inferir la carga máxima tolerable. En las aguas residuales domésticas, la DBO a cinco días a menudo representa entre un 65 y un 70% del total de la composición orgánica oxidable (Benites, 2021).
- **Nitrito (NO_2), Nitrato (NO_3) y Nitrógeno Amoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$):** El nitrógeno (N) se manifiesta en diversas formas como el nitrito (NO_2), el nitrato (NO_3) y el nitrógeno amoniacal (NH_4^+). Este ciclo es una danza constante y intrincada, especialmente los engranajes microbianos encargados de la formación, adhesión y desnitrificación del nitrógeno en los terrenos. Su ritmo depende de factores como la humedad del suelo, la temperatura y el pH. En terrenos frescos, el nitrógeno de los fertilizantes se transforma bioquímicamente en amonio, lo que revela la polución fecal y provoca

olores y sabores en el afluente. Así, las aguas ricas en nitrógeno orgánico y amoníaco han sido catalogadas como contaminadas recientemente y representan un riesgo potencial considerable (Valle, 2016).

- **Cloruro (Cl):** Cuando las concentraciones de cloruro son muy altas, esto provoca que el agua adquiera un sabor que resulta bastante desagradable para quienes la degustan. La elevación en los niveles de cloruro presentes en el agua provoca un incremento en la capacidad corrosiva de este recurso hídrico. El elevado nivel de cloruros presente en el agua resulta en la imposibilidad de que esta sea apta para el consumo humano o para el uso en la alimentación del ganado. Además, estos altos contenidos de cloruros pueden causar la muerte de las plantas y vegetación que se encuentran en los alrededores (Mamani, 2022).

C. Metales pesados

Los metales pesados se definen como un conjunto de elementos químicos que se caracterizan por tener una densidad considerablemente elevada en comparación con otros elementos. En términos generales, los metales pesados son considerados altamente tóxicos para la salud de los seres humanos. Entre los contaminantes más comunes que pueden encontrarse en el agua, es importante destacar aquellos que son especialmente perjudiciales, siendo algunos de los más peligrosos el mercurio, el níquel, el cobre, el plomo y el cromo.

- **Mercurio:** La tabla frecuente de los elementos señala al mercurio con el símbolo Hg y tiene un número atómico particular. En la literatura de tiempos pasados, este tesoro natural a menudo era bautizado como "plata líquida". Además, es importante señalar que la presencia de este mineral en los cuerpos de agua se atribuye en gran medida a las diversas actividades humanas, como la minería y otras prácticas similares. Sin embargo, existen algunas localizaciones en las que, debido a características geológicas propias de la zona, se pueden encontrar depósitos de este mineral de

forma natural. Por lo general, se puede afirmar que se trata de un tipo de elemento que no se encuentra en grandes cantidades dentro de la corteza terrestre (Escobar, 2019).

- **Plomo:** El plomo, aunque se considera un elemento que no tiene una gran relevancia en comparación con otros en la corteza terrestre, se encuentra de manera bastante extendida en cantidades bajas en diversos tipos de rocas sedimentarias y en suelos que no han sido afectados por la contaminación. Este compuesto resulta ser perjudicial y tóxico para los organismos que habitan en el agua, aunque es importante señalar que el nivel de toxicidad puede cambiar considerablemente. Esta variabilidad en el grado de toxicidad está influenciada en gran medida por diversas características relacionadas con la calidad del agua y también depende de las diferentes especies que se encuentren en el estudio (Rivera, 2021a).
- **Cromo:** El cromo se clasifica como uno de los numerosos elementos químicos que pueden ser detectados en aguas que han sido contaminadas, las cuales provienen de una extensa gama de procesos industriales, actividades mineras y otras fuentes similares. La toxicidad de esta sustancia está directamente relacionada con su estado de oxidación, así como con la concentración en la que se encuentra en un determinado medio ambiente. Es particularmente crucial prestar atención a la eliminación del cromo hexavalente que se halla presente en los sistemas de agua dulce, debido a su conocido potencial cancerígeno. Este aspecto es fundamental para establecer los objetivos de calidad que deben cumplirse para ciertas sustancias contaminantes en las aguas superficiales continentales. Esto genera la necesidad para numerosas compañías de implementar tecnologías que ayuden en la prevención de la contaminación, así como en la recuperación del cromo presente en sus aguas residuales (Calero, 2023a).

- **Cobre:** El cobre se presenta como un componente que se encuentra de manera extensiva en las distintas cuencas hidrográficas. Sin embargo, es importante señalar que la mayoría de los minerales que contienen cobre poseen una alta insolubilidad. Esto se debe a que el cobre tiende a ser absorbido en su estado sólido, lo que limita su presencia en las aguas naturales, donde su concentración es, en general, bastante baja. Debido a la presencia de compuestos sulfurosos en el medio, se puede concluir que el cobre debería volverse todavía menos soluble en aquellas condiciones anóxicas donde el oxígeno está ausente. La observación de una concentración más alta de ciertos contaminantes en las aguas naturales que se encuentran en la superficie puede ser explicada por la influencia de desechos generados por la industria y/o las diversas actividades relacionadas con la minería (Marin, 2012).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

- **Agua:** Se trata de un líquido que es completamente transparente, no tiene ningún color, no posee olor ni sabor en su forma más pura. Este líquido esencial está compuesto por moléculas que constan de dos átomos de hidrógeno y un solo átomo de oxígeno. Además, es el elemento más abundante que se encuentra en la superficie de nuestro planeta y también representa la mayor parte de la composición de todos los seres vivos que existen en la Tierra (Delgado & Zavala, 2021).
- **Aguas superficiales:** Las aguas superficiales se definen como aquellas masas de agua que se localizan y son visibles por encima de la superficie terrestre del planeta. Este fenómeno se origina debido a la escorrentía que es generada por las lluvias o también puede ser el resultado del afloramiento de aguas que se encuentran en el subsuelo (Colavita, 2021).

- **Aluminio:** El aluminio es un metal poco denso, muy ligero, blando, maleable y de tonalidad blanco-plateado. El aluminio conduce bien electricidad y calor, además de reflejar eficazmente la radiación electromagnética visible (Benites, 2021).
- **Arsénico:** El arsénico es un elemento de la tabla periódica que pertenece al grupo de metaloides o semimetales. Es un sólido a temperatura ambiente; sublima a 613 °C bajo presión atmosférica (García & Tuco, 2020).
- **Cadmio:** El cadmio es un elemento químico con número atómico 48 en el grupo 12 de la tabla periódica. Su símbolo es Cd. Es un metal denso, suave, de color blanco azulado y bastante raro. Es uno de los metales más venenosos (Marsily, 2005).
- **Calidad de agua:** La calidad del agua, según la OMS y otros organismos, se resume en las condiciones del agua respecto a sus características físicas, químicas y biológicas, ya sea en su estado natural o tras alteraciones humanas (Olaya et al., 2022).
- **Cloruro (Cl):** El cloruro es un electrolito crucial en la sangre. Contribuye a equilibrar el volumen de líquido dentro y fuera de las células. Asimismo contribuye a sostener el volumen sanguíneo, la presión arterial y el pH de los fluidos corporales (Cárdenas, 2022).
- **Cobre:** El cobre, con símbolo Cu, es el elemento químico de atomic número 29. Es un metal de transición de tono cobrizo, o sea, rojizo anaranjado, con brillo metálico que, junto con plata, oro y roentgenio, pertenece a la familia del cobre (García & Tuco, 2020).
- **Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$):** La propiedad de la conductividad se define como el inverso de la resistencia específica de un material, lo que significa que a medida que aumenta la conductividad, disminuye la resistencia, y viceversa. Esta característica se mide y se expresa comúnmente en micromho por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$), una unidad que también se puede considerar equivalente a

microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) o, en un contexto más amplio dentro del Sistema Internacional de Unidades, a milisiemens por centímetro (mS/cm) (García & Tucto, 2020).

- **Cromo:** El cromo, con su número atómico 24, se encuentra en el sexto grupo de la tabla periódica. Su emblema es el Cr. Es un metal esencial en el arte de la metalurgia. Su apelativo cromo surge de la gama cromática de sus compuestos (Chacón, 2017).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** La necesidad bioquímica de oxígeno evalúa cuánto oxígeno se consume al descomponer compuestos orgánicos en un líquido. Es el compuesto que puede ser ingerido o oxidado por la vida en una muestra líquida, disuelta o suspendida (Llontop, 2018).
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** La Demanda Química de Oxígeno es un indicador de calidad del agua, que mide la cantidad de materia que un oxidante químico, comúnmente dicromato potásico en medio ácido, puede oxidar (Llontop, 2018).
- **Fósforo Total (PT):** La cantidad total de fósforo mide la disponibilidad de fósforo orgánico, inorgánico, disuelto y particulado en los sistemas acuáticos. En muchos ecosistemas acuáticos, el fósforo es el nutriente limitante para la producción primaria y determina su estado trófico (Delgado & Zavala, 2021).
- **Mercurio:** El mercurio es un elemento químico simbolizado como Hg y con número atómico 80. En textos antiguos era frecuentemente llamado plata líquida, azogue o hidrargirio (Huarcaya & Toribio, 2021).
- **Metales pesados:** Un metal robusto forma parte de una sinfonía de elementos químicos enigmáticos que exhiben características metálicas. Entre los metales de transición destacan algunos metales, algunos lantánidos y algunos actínidos.

- **Nitrato (NO_3):** Los nitratos son compuestos derivados del ácido nítrico HNO_3 . Se llaman nitratos a las sales que tienen este ion. Los nitratos son un componente común en plantas de fertilización y compuestos explosivos. Todos los nitratos orgánicos encuentran su refugio en el agua. El oxinitrato de bismuto es un ejemplo de nitrato que no se descompone en agua (Mamani, 2022).
- **Nitrito (NO_2):** Es un anión con una estructura y disposición angular que recuerda al ozono. Los nitritos tienen la capacidad de metamorfosearse en sales o ésteres del ácido nitroso (Huarcaya & Toribio, 2021).
- **Nitrógeno Amoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$):** Es un compuesto inorgánico de nitrógeno que se genera en plantas de tratamiento durante la descomposición biológica de compuestos nitrogenados. El amonio puede transformarse en nitrato con oxígeno (nitrificación).
- **Óxidos Disueltos (OD):** Es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelta en el agua. El oxígeno libre es vital para la existencia de peces, plantas, algas y otros organismos; por ello, históricamente, se ha visto como un indicador de la habilidad de un río para sustentar la vida acuática (Ccora, 2022).
- **Parámetros fisicoquímico:** Entre los diversos parámetros que se pueden considerar, se encuentran los parámetros físicos, que comprenden características tales como el color, el olor, el sabor y la turbidez, así como también los parámetros químicos, que incluyen mediciones importantes como el pH y la concentración de amonio. No obstante, hemos decidido no incluir en nuestros análisis ciertos parámetros importantes, tales como el cobre, el cromo, el níquel, así como el cloro, ya sea en su forma libre o en su combinación residual (Huarcaya & Toribio, 2021).
- **Plomo:** El plomo, con su símbolo Pb y su número atómico 82, se encuentra en la tabla moderna, a diferencia de la de Mendeléyev. Este químico no era considerado un metal habitual debido a su alta elasticidad molecular (Mayca, 2019).

- **Potencial de Hidrógeno (pH):** El potencial de hidrógeno es un índice común en química que indica el nivel de acidez o alcalinidad de una solución acuosa. El pH se relaciona con la cantidad de iones de hidrógeno en ciertas disoluciones (Palomino, 2022).
- **Ríos:** Un río se define como una corriente constante y continua de agua que se desplaza a través de un cauce, que puede encontrarse en la superficie de la Tierra, aunque también existe la posibilidad de que este flujo de agua ocurra de manera subterránea, es decir, bajo la tierra. Los elementos en cuestión pueden clasificarse en dos categorías distintas, que son aquellos que son de origen natural y aquellos que han sido creados por intervención humana, es decir, artificiales (Colavita, 2021).
- **Sólidos Totales Disueltos (STD):** En términos simples, se puede entender que representa la combinación total de todos los minerales, metales y sales que se encuentran disueltos en el agua, y, además, sirve como un excelente indicador de la calidad general del agua en cuestión (Huarcaya & Toribio, 2021).
- **Temperatura (°C):** La escala de temperatura conocida como el grado Celsius se utiliza como una unidad de medida para cuantificar cuán caliente o frío está un objeto o un ambiente. Esta escala está diseñada de tal manera que establece el punto de fusión del agua, que es el momento en el que el agua se convierte en hielo, a una temperatura de cero grados Celsius (0 °C) cuando se mide a una presión atmosférica equivalente al nivel del mar. De igual forma, el punto en el que el agua comienza a hervir, es decir, cuando se transforma de líquido a vapor, se sitúa en 100 grados Celsius (100 °C) dentro de esta misma escala. Se representa utilizándose el símbolo correspondiente que es “°C” (Sierra, 2021).
- **Turbidez (UNT):** La unidad de turbidez nefelométrica, conocida como NTU por su acrónimo en inglés Nephelometric Turbidity Unit, se emplea para medir la turbidez de líquidos, no siendo aplicable a gases o a la atmósfera (Mamani, 2022).

- **Zinc:** El zinc, conocido como cinc, es un elemento químico esencial con número atómico 30 y símbolo Zn, ubicado en el grupo 12 de la tabla periódica (Huarcaya & Toribio, 2021).

2.3. MARCO NORMATIVO

- Constitución Política del Perú (1993)
- Ley N° 28611: Ley General del Ambiente
- Decreto Legislativo N° 1055, D.L. que modifica la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.
- Resolución Jefatural N°202-2010-ANA, que aprueba la Clasificación de cuerpos de aguas superficiales y marino - costeros
- Decreto Supremo N°015-2015-MINAM, Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.
- Resolución Jefatural N°010-2016. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la 28 www.gonitro.com Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.
- Decreto Supremo 004 – 2017 – MINAM: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

- La calidad de las aguas superficiales de acuerdo a la concentración de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados del río Coata, no se encuentran dentro de los parámetros del (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La concentración de parámetros físico-químicos presentes en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, exceden los valores establecidos, por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

- La concentración de los metales pesados afecta la calidad del agua del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

En el área de investigación, en el Coata del distrito de Caracoto, se ha detectado la deficiencia de servicios básicos vinculados al saneamiento del agua potable y la instalación de desagüe en las casas. Ante esta falta, los residentes del área deben usar agua superficial para sus animales, lo que aumenta el riesgo de infecciones y muertes. De igual forma, emplean agua subterránea sin tratamiento previo para sus actividades cotidianas, lo que impacta negativamente en su salud.

Distrito: Caracoto, un distrito peruano, es uno de los 4 que integran la provincia de San Román, en el Departamento de Puno, administrado por el Gobierno regional de Puno, Perú (*Municipalidad Distrital de Caracoto - MDC, 2024*).

Provincia: San Román es una de las trece provincias del departamento de Puno en el sur de Perú. Al norte limita con las provincias de Azángaro y Lampa, al este con Huancané, al sur con Puno y al oeste con Arequipa y Moquegua (Banco Central de Reserva del Perú Sucursal Puno, 2018).

Departamento: San Román es una de las 13 provincias del departamento de Puno, en el sur de Perú. Al norte colinda con Azángaro y Lampa, al este con Huancané, al sur con Puno y al oeste con Arequipa y Moquegua (Sygic Travel, 2020).

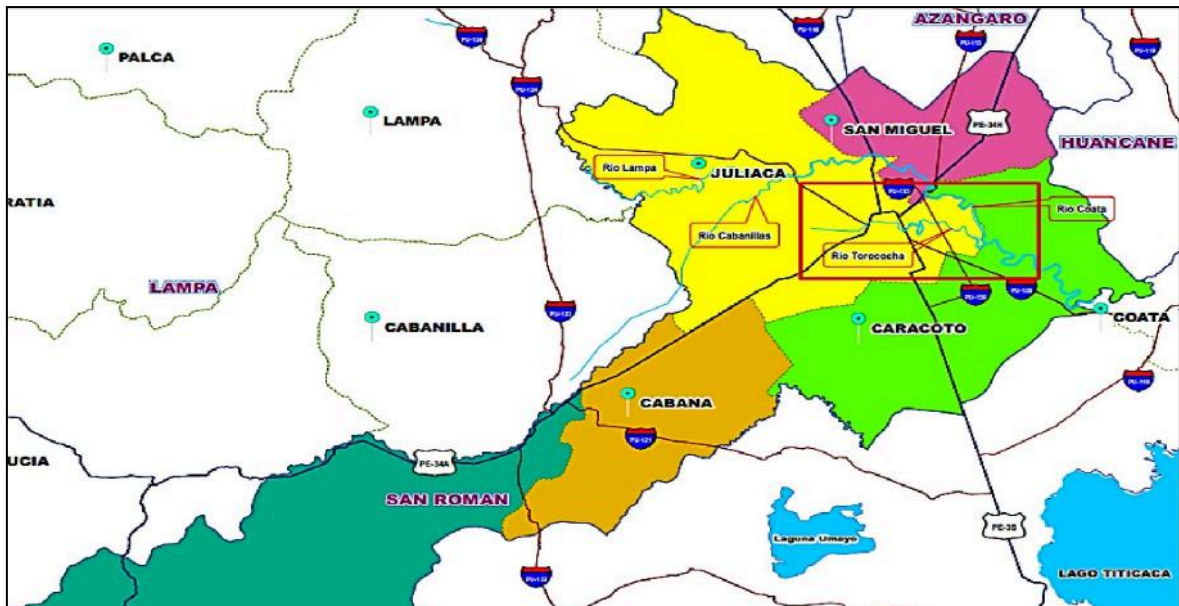


Figura 01: Ubicación geográfica de la zona de estudio

Fuente: Google Maps

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Se puede describir como una agrupación de elementos que se encuentran interrelacionados, los cuales pueden ser tanto objetos físicos como seres individuales, que están asociados entre sí a través de múltiples formas y relaciones, tal como lo sostiene Hernández, (2015), también puede definirse como la cantidad de elementos que representan un estudio y que puede ser finita o infinita. En este contexto, en el análisis, la población de interés abarca el Río Coata.

Río Coata: El Coata es un afluente del lago Titicaca que atraviesa Perú. Posee una cuenca hidrográfica que incluye 4 585 km². Tiene una extensión de 141 km. El río es un afluente principal que desemboca en el lago Titicaca por el sur, así que la población fue de 141 km, siendo la muestra la misma longitud.

3.2.2. MUESTRA

La recolección de las muestras es un punto importante en el procedimiento de evaluación de la calidad del agua. En el Río Coata se recolectaron 2 muestras de agua, ubicadas en los puntos determinados por las coordenadas UTM especificadas en la Tabla 01.

Cada muestra consistió en un volumen de 1 litro de agua, recolectada en recipientes de polietileno blanco de 1 litro, siguiendo los protocolos de muestreo establecidos para la evaluación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados.

Tabla 01: Ubicación de las estaciones de muestreo en las aguas del río Coata.

Muestra	Coordenadas UTM			Ubicación
	Este	Norte	Cota	
CoatM1	385378	8285359	3824	Río Coata
CoatM2	385069	8285593	3824	Río Coata



Figura 02: Imagen satelital de río Coata

Fuente: Google earth

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1. MÉTODOS

- **Método de investigación:** La realización del presente estudio, posee un enfoque cuantitativo, Mediante un proceso que consiste en la cuidadosa cuantificación y el detallado análisis de los datos que han sido recopilados, se hace posible llevar a cabo la elaboración de los resultados que han sido obtenidos durante el estudio, así como también la formulación de las conclusiones pertinentes dentro del contexto del trabajo de investigación realizado. De igual manera, el enfoque cuantitativo se caracteriza por utilizar la recolección y el análisis sistemático de datos con el objetivo de proporcionar respuestas a preguntas de investigación y validar hipótesis, apoyándose en una variedad de mediciones, estadísticas y pruebas rigurosas.
- **Tipo de investigación:** El estudio fue descriptivo - explicativo, porque nos permite describir, analizar el estado actual del conocimiento de la información existente de los monitoreos de la calidad superficial de las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.
- **Diseño de investigación:** Se empleó un diseño no experimental de corte longitudinal, el cual se clasificó como no experimental debido a que en este tipo de estudio no se realizaron alteraciones en las condiciones ni en las variables analizadas. En su lugar, se observaron dichas variables y condiciones tal como se presentaban y evolucionaban de manera natural a lo largo del tiempo. Este enfoque resultó especialmente útil para analizar cómo ciertas variables, categorías o relaciones experimentaron cambios con el paso del tiempo. Asimismo, permitió la recopilación de datos en distintos momentos temporales, lo que fue fundamental para realizar inferencias sobre la evolución de los elementos estudiados.

3.3.2. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICO

Objetivo específico 01: Determinar la calidad del agua en los parámetros físico-químicos presentes en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024

La toma de muestras se llevó a cabo siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA). Con el objetivo de garantizar la seguridad durante el trabajo de campo y prevenir cualquier tipo de contaminación en las muestras, se implementaron las medidas adecuadas, incluyendo el enjuague exhaustivo de los recipientes, procedimiento que se repitió tres veces. Asimismo, se aseguró que los recipientes fueran sumergidos en dirección contraria al flujo de la corriente. En todo momento, se evitó la recolección de partículas de suciedad y sedimentos, garantizando así la pureza y calidad del muestreo.

Tabla 02: Materiales y equipos que serán utilizadas en el presente estudio

Descripción	Cantidad
Botellas polietileno blanco	02
Libreta de campo.	01
Cámara fotográfica.	01
Computadora personal (Laptop)	01
Alcohol	01
GPS	01
Cooler	01

Procedimiento para la toma de muestras fisicoquímicas

- El recipiente fue manipulado con precaución y la tapa se retiró sin tocar el interior del frasco. Los frascos fueron lavados al menos tres veces de manera minuciosa para eliminar cualquier sustancia que pudiera alterar los resultados.
- Posteriormente, se sostuvo el recipiente por la base del cuello y se orientó en dirección opuesta al flujo del agua. Dado que estas muestras no requerían ser llenadas hasta el borde, se evitó la recolección de impurezas.
- Para el muestreo químico de pH, oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), se aplicaron las mismas consideraciones que para las muestras físicas. En el caso del análisis de DBO, se utilizaron frascos de boca ancha. Para prevenir cambios en los resultados debido a la oxidación, los frascos fueron llenados completamente sin burbujas de aire y sellados de inmediato con sus respectivas tapas.
- Las muestras fueron almacenadas en un enfriador de plástico a aproximadamente 4 °C, evitando la congelación y asegurando que no se contaminaran con impurezas durante su recolección. Finalmente, las muestras, correctamente recolectadas y etiquetadas, fueron enviadas al Laboratorio de Aguas para su análisis fisicoquímico.

Objetivo específico 02: Determinar el nivel de metales pesados presentes en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.

- La recolección de muestras se llevó a cabo en las dos estaciones de monitoreo. Se utilizaron frascos de un litro y las muestras fueron recolectadas siguiendo las instrucciones del manual para el análisis de metales pesados.
- Se evitaron las áreas turbulentas y se recolectaron las muestras en contracorriente, asegurando su obtención en un flujo calmado.
- Los frascos fueron enjuagados tres veces con agua del punto de muestreo. Al finalizar todos los pasos requeridos, se llenaron con agua y se sellaron sumergidos para garantizar que no quedara aire atrapado dentro.

- Las muestras fueron etiquetadas adecuadamente con los códigos CoatM1 y CoatM2 para su identificación.
- En el laboratorio, las muestras fueron examinadas utilizando los códigos previamente mencionados. Finalmente, las muestras recolectadas y correctamente etiquetadas fueron enviadas para el análisis de metales pesados.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 03: Operacionalización de las variables

Variables	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente: Parámetros fisicoquímico y metales pesados	Parámetros fisicoquímico del agua	Turbidez (UNT)
		Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)
		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
		Sólidos Totales Disueltos (STD)
		Potencial de Hidrógeno (pH)
		Demanda Química de Oxígeno (DQO)
		Fósforo Total (PT)
		Óxidos Disueltos (OD)
		Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
		Nitrato (NO_3), Nitrito (NO_2) y Nitrógeno Amoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)
		Cloruro (Cl)
		Mercurio
		Cromo
Cobre		
Variable Dependiente: Calidad de agua	Metales pesados	Aluminio
		Arsénico
		Cadmio
		Plomo
		Zinc
		Cumplimiento
		Incumplimiento

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

Para examinar los datos a fondo, se utilizó un método exhaustivo de estadística descriptiva que permitió reconocer todas las posibles diferencias entre los puntos analizados. Se empleó un diseño experimental de bloque aleatorio completo, considerando tanto los lugares como los tiempos de muestreo como factores independientes dentro de un modelo lineal.

Los parámetros fisicoquímicos y los metales pesados fueron calculados a partir de los datos de la media poblacional, y la diferencia fue determinada utilizando Microsoft Excel.

CAPÍTULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PRESENTES EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO COATA, PROVINCIA SAN ROMÁN - PUNO, 2024.

Tabla 04: Concentración de parámetros físico-químicos en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024

Ítems	Parámetro	Unidad	M1	M2	ECA Límites (según DS N° 004-2017-MINAM)
1	Turbidez (UNT)	UNT	24.95	24.86	100
2	Conductividad Eléctrica (μ S/cm)	(μ S/cm)	185.90	174.40	1000
3	Temperatura ($^{\circ}$ C)	$^{\circ}$ C	17.10	17.50	Δ 3
4	Sólidos Totales Disueltos (STD)	mg/L	93.20	87.10	\leq 100
5	Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7.35	8.31	6,5 a 9,0
6	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	110.20	94.10	30

7	Fósforo Total (PT)	mg/L	1.11	1.14	2,56
8	Óxidos Disueltos (OD)	mg/L	>6	>6	≥ 5
9	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	44.08	64.00	10
10	Nitrógeno Amoniacal (NH ₄ ⁺ -N)	mg/L	22.90	3.20	-
11	Nitrato (NO ₃)	mg/L	11.9	36.3	13
12	Nitrito (NO ₂)	mg/L	01.07	01.04	1

INTERPRETACIÓN:

Turbidez (UNT): Las muestras muestran bajos niveles de turbidez (24.95 y 24.86 UNT), bien por debajo del límite permitido de 100. Esto refleja una calidad visual adecuada del agua, con pocas partículas suspendidas que podrían afectar la luz y, por tanto, los procesos fotosintéticos en los ecosistemas acuáticos.

Conductividad Eléctrica (µS/cm): Con valores de 185.90 y 174.40 µS/cm, ambos resultados están significativamente por debajo del límite de 1000, indicando baja presencia de sales disueltas. Esto sugiere que el agua no ha sido afectada significativamente por descargas salinas o minerales, siendo favorable para la biodiversidad del río.

Temperatura (°C): Los registros de 17.10 °C y 17.50 °C cumplen con el límite de variación permitido (Δ 3), reflejando una estabilidad térmica que favorece el metabolismo de los organismos acuáticos y asegura la retención de niveles adecuados de oxígeno disuelto.

Sólidos Totales Disueltos (STD) (mg/L): Los resultados de 93.20 y 87.10 mg/L están dentro del rango permitido (≤ 100), lo que indica baja concentración de materiales

solubles como sales o materia orgánica disuelta. Esto es clave para mantener un equilibrio químico saludable en el ecosistema acuático.

Potencial de Hidrógeno (pH): Con valores de 7.35 y 8.31, el pH de las muestras se encuentra dentro del rango ideal (6.5 a 9.0), indicando condiciones neutras que son óptimas para los organismos acuáticos y la estabilidad de los procesos biogeoquímicos del río.

Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L): Los valores de 110.20 y 94.10 mg/L exceden ampliamente el límite de 30, evidenciando una alta carga de contaminantes orgánicos e inorgánicos en descomposición, probablemente asociada a descargas residuales, lo cual pone en riesgo los niveles de oxígeno en el agua.

Fósforo Total (PT) (mg/L): Con concentraciones de 1.11 y 1.14 mg/L, ambas muestras están dentro del límite permitido de 2.56. Aunque el nivel es bajo, un monitoreo continuo es necesario para evitar acumulaciones que puedan causar eutrofización y proliferación de algas.

Oxígeno Disuelto (OD) (mg/L): Ambas muestras superan el valor mínimo requerido (≥ 5 mg/L), con valores superiores a 6. Esto asegura que los organismos acuáticos tienen suficiente oxígeno para sobrevivir, lo cual es una señal positiva en medio de los altos niveles de materia orgánica detectados.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (mg/L): Los resultados de 44.08 y 64.00 mg/L son alarmantemente altos frente al límite de 10, indicando una carga orgánica excesiva que consume grandes cantidades de oxígeno, comprometiendo la supervivencia de la vida acuática y reflejando una contaminación severa.

Nitrógeno Amoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) (mg/L): Las concentraciones de 22.90 y 30.20 mg/L son extremadamente altas, sugiriendo contaminación significativa por desechos orgánicos o aguas residuales. Este nivel de amonio puede ser tóxico para los organismos acuáticos, afectando su supervivencia.

Nitrato (NO_3) (mg/L): Con 11.9 mg/L en M1 y 36.3 mg/L en M2, solo la primera muestra cumple el límite de 13 mg/L. El exceso en M2 podría deberse a fertilizantes agrícolas o descargas residuales, incrementando el riesgo de eutrofización y afectando negativamente la calidad del agua.

Nitrito (NO_2) (mg/L): Los valores de 1.07 y 1.04 mg/L exceden ligeramente el límite de 1, indicando procesos de oxidación incompleta del nitrógeno, probablemente por contaminación reciente. El nitrito es particularmente tóxico para los peces, lo que pone en riesgo la biodiversidad acuática.

El río Coata presenta varios parámetros dentro de los límites permitidos, como turbidez, conductividad, temperatura y pH, lo cual es positivo para la estabilidad básica del ecosistema. Sin embargo, los valores alarmantes de DQO, DBO, nitrógeno amoniacal, nitrato y nitrito evidencian una contaminación significativa, probablemente debido a actividades humanas como descargas residuales y uso de fertilizantes. Estas condiciones comprometen seriamente la salud del ecosistema y requieren medidas urgentes de mitigación y control.

DISCUSIÓN:

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos es crucial para establecer la calidad del agua y su nivel de contaminación. Una variedad de investigaciones han examinado estos parámetros en diversas fuentes hídricas, identificando variaciones en función de factores ambientales, actividades antropogénicas y fuentes de contaminación.

Salazar (2019) determinó que el pH y la temperatura del agua del río Tarma se sitúan dentro de las restricciones permitidas del ECA-Agua categoría 3, lo que sugiere que no producen modificaciones significativas en la calidad del agua. No obstante, se registró una disminución del oxígeno disuelto (OD) en la región urbana. Esta reducción pone en riesgo la capacidad de autodepuración del río, afectando negativamente su estabilidad ecológica. Adicionalmente, se registró un aumento en la demanda bioquímica de oxígeno

(DBO). La conductividad eléctrica (CE) y la totalidad de sólidos suspendidos (SST) se ubicaron dentro de los límites permitidos del ECA-Agua categoría 3.

En una investigación llevada a cabo en el manantial Estange, Palomino (2022) determinó que parámetros como el pH (7.72), la conductividad eléctrica (933.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$), los sólidos totales disueltos (484.5 mg/L) y la turbidez (1.75 UNT) se encontraban dentro de los parámetros permitidos. Sin embargo, variables como la temperatura (21.6 oC), la dureza (677.56 mg CaCO_3/L), el dióxido de carbono (DBO) (8.5 mg/L) y el oxígeno disuelto (OD) (5.72 mg/L) excedían los estándares de calidad ambiental, lo que sugiere que el agua procedente del manantial no es adecuada para el consumo humano.

Castro (2019), por su parte, llevó a cabo una evaluación de la calidad del agua en el Centro Poblado Puyllucana (Cajamarca), identificando un pH de 8.32, que no implica amenazas para la salud, pero puede influir en la eficacia de la desinfección con cloro. La conductividad eléctrica (286 $\mu\text{S}/\text{cm}$), la concentración total de sólidos disueltos (13.6 mg/L) y la concentración de fluoruro (0.328 mg/L) se ubicaron dentro de los parámetros tolerables. No obstante, la concentración de oxígeno disuelto (5.23 mg/L) fue inferior a la norma ambiental, lo que podría sugerir una contaminación orgánica leve en la región bajo estudio.

En una valoración llevada a cabo por Juárez (2023), los parámetros fisicoquímicos del agua examinados en diversas ubicaciones de muestreo se encontraban, en su mayoría, dentro de los parámetros permitidos. Sin embargo, se constató que el pH (8.40 en ciertos puntos) era levemente básico, lo que indica la presencia de determinados contaminantes disueltos en el agua. Adicionalmente, la conductividad eléctrica osciló entre 0.50 y 0.56 mS/cm, valores que se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la normativa, mientras que los niveles de oxígeno disuelto (OD) fluctuaron entre 8.09 y 8.42 mg/L, garantizando una calidad del agua aceptable.

Chávez & Culqui (2022) llevaron a cabo un análisis de la calidad del agua en el sector Las Flores – Cajamarca, obteniendo valores aceptables para la conductividad eléctrica (23.6 a 25.1 $\mu\text{S/cm}$), el oxígeno disuelto (6.2 a 6.6 mg/L) y los sulfatos (2.432 a 3.571 mg/L), lo cual sugiere que la calidad del agua se mantiene estable. No obstante, se identificaron valores de coliformes totales y termotolerantes, lo cual constituye una amenaza microbiológica para el consumo humano.

En última instancia, Ñahui (2023) llevó a cabo una evaluación del agua potable destinada al consumo humano, concluyendo que los parámetros fisicoquímicos, tales como el color verdadero, la turbidez, la dureza total, la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales, el potencial de hidrógeno, el cianuro, el nitrato, el nitrito y el sulfato, satisfacían los estándares del D.S. Número 004-2017-MINAM, corroborando su aptitud para el consumo humano. Adicionalmente, los parámetros microbiológicos, incluyendo coliformes totales y *Escherichia coli*, se hallaron dentro de los parámetros establecidos por las normativas vigentes.

Para concluir, las investigaciones examinadas demuestran que ciertos parámetros fisicoquímicos, tales como pH, conductividad eléctrica, sólidos totalmente disueltos y turbidez, suelen mantenerse dentro de los parámetros reguladores en diversas fuentes hídricas. No obstante, la presencia de dióxido de carbono (DBO) elevada, concentración reducida de oxígeno disuelto, dureza elevada y pH modificado en ciertas muestras sugiere contaminación orgánica y potencial impacto de actividades antropogénicas. Estos hallazgos subrayan la imperatividad de instaurar estrategias de control y supervisión continua para garantizar que el agua satisfaga los criterios de calidad requeridos para su utilización y consumo.

4.2. DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO COATA, PROVINCIA SAN ROMÁN - PUNO, 2024.

Tabla 05: Concentración de metales pesados en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.

Ítems	Parámetro	Unidad	M1	M2	ECA Límites
					(según DS N° 004-2017-MINAM)
1	Mercurio (Hg)	mg/L	<0,0009	<0,0009	0,0001
2	Cromo (Cr)	mg/L	<0,004	<0,004	0,011
3	Cobre (Cu)	mg/L	0,022	0,041	0,1
4	Aluminio (Al)	mg/L	0,816	0,839	0,2
5	Arsénico (As)	mg/L	0,011	<0,005	0,15
6	Cadmio (Cd)	mg/L	<0,002	<0,002	0,00025
7	Plomo (Pb)	mg/L	0,018	0,018	0,0025
8	Zinc (Zn)	mg/L	<0,05	<0,05	0,12

INTERPRETACIÓN:

Mercurio (Hg): En la muestra M1, la concentración de mercurio es <0,0009 mg/L, y en la muestra M2 es igualmente <0,0009 mg/L. Estos valores se encuentran por debajo del límite de detección del método analítico utilizado. Sin embargo, ambos resultados superan el valor máximo permitido por el ECA para agua (0,0001 mg/L), lo que indica la presencia potencial de mercurio en concentraciones que podrían ser tóxicas. El mercurio

es altamente tóxico y puede bioacumularse en organismos acuáticos, afectando tanto a la fauna como a la salud humana a través de la cadena alimentaria.

Cromo (Cr): Las concentraciones de cromo en M1 y M2 son $<0,004$ mg/L, situándose por debajo del límite de detección y del límite permitido por el ECA ($0,011$ mg/L). Esto sugiere que la presencia de cromo es baja y no representa un riesgo significativo para la salud humana ni para la vida acuática en el río Coata.

Cobre (Cu): En la muestra M1 se registró una concentración de $0,022$ mg/L, mientras que en M2 fue de $0,041$ mg/L. Ambos valores están por debajo del límite permitido por el ECA ($0,1$ mg/L). No obstante, se observa un incremento en la muestra M2 en comparación con M1, lo que podría deberse a descargas antrópicas o variaciones locales en la cuenca.

Aluminio (Al): La concentración de aluminio en M1 es de $0,816$ mg/L y en M2 de $0,839$ mg/L, superando ampliamente el valor máximo permitido por el ECA ($0,2$ mg/L). Estos resultados indican una contaminación significativa, posiblemente atribuible a actividades mineras, industriales o a procesos naturales de lixiviación de suelos. El aluminio en concentraciones elevadas puede causar efectos tóxicos en organismos acuáticos y afectar la salud humana si el agua se utiliza para consumo.

Arsénico (As): En la muestra M1, la concentración de arsénico es de $0,011$ mg/L, mientras que en M2 es $<0,005$ mg/L. Ambos valores están por debajo del límite permitido por el ECA ($0,15$ mg/L), lo que indica una baja presencia de este elemento y un riesgo mínimo para la salud humana y el ambiente en el contexto actual.

Cadmio (Cd): Las concentraciones de cadmio en ambas muestras (M1 y M2) son $<0,002$ mg/L, lo que supera el valor máximo permitido por el ECA ($0,00025$ mg/L). A pesar de estar por debajo del límite de detección, estos resultados sugieren un riesgo potencial debido a la toxicidad del cadmio, que puede provocar daños renales, óseos y efectos cancerígenos con exposiciones prolongadas.

Plomo (Pb): Las concentraciones de plomo en M1 y M2 son de 0,018 mg/L en ambos casos, superando significativamente el límite establecido por el ECA (0,0025 mg/L). Esto representa un riesgo grave para la salud pública, especialmente en niños, ya que el plomo afecta el sistema nervioso, el desarrollo cognitivo y puede causar enfermedades crónicas. La contaminación podría estar relacionada con actividades mineras, industriales o con residuos urbanos.

Zinc (Zn): En ambas muestras (M1 y M2), la concentración de zinc es <0,05 mg/L, lo que está por debajo del límite permitido por el ECA (0,12 mg/L). Esto indica que la presencia de zinc no representa un riesgo actual para la calidad del agua ni para la vida acuática.

Al comparar las concentraciones de metales pesados en las muestras M1 y M2 con los límites establecidos por el ECA según el DS N° 004-2017-MINAM, se observa que el aluminio, cadmio, plomo y mercurio superan los límites permisibles, lo que indica una preocupación ambiental significativa. Las concentraciones de cobre muestran un incremento entre las muestras, lo que podría reflejar una influencia antrópica localizada. En contraste, los niveles de cromo, arsénico y zinc se encuentran dentro de los límites permitidos, lo que sugiere un riesgo ambiental mínimo para estos metales en el contexto actual.

DISCUSIÓN:

El análisis de los metales pesados en cuerpos de agua es crucial para determinar su impacto en la calidad del agua y los riesgos para la salud pública y el medio ambiente.

Diferentes estudios han analizado la concentración de estos elementos, por ejemplo:

Coila (2024) determinó que la concentración de arsénico en el agua destinada a la irrigación ascendió a 0.0381 mg/L, superando los parámetros establecidos por los estándares de calidad ambiental del MINAM. Adicionalmente, se identificaron concentraciones de plomo y arsénico de 25.5 mg/kg en los suelos agrícolas, mientras que

no se detectaron mercurio y cadmio en el agua. En las parcelas irrigadas en el distrito de Llalli, las concentraciones de cadmio y mercurio fueron inferiores a 0.05 mg/kg.

Calero (2023), por su parte, detectó la presencia de elementos como aluminio, arsénico, cadmio, cromo, níquel y plomo en aguas superficiales próximas a la desembocadura del río Chancay, Huaral. A excepción del plomo, los demás metales se hallaron dentro de los límites del ECA para aguas recreacionales y los valores de referencia de la Organización Mundial de la Salud, lo que indica que su presencia no constituye un peligro inmediato para la salud.

Rivera (2021) también corroboró la existencia de arsénico, plomo y zinc en las aguas superficiales de la Laguna Patón, atribuyendo dicha contaminación a las descargas de aguas residuales industriales y a las estructuras geológicas. La concentración de plomo (0.0094 mg/L) excedió los límites establecidos en el ECA de 2017 para la categoría 4, en contraste con el arsénico (0.0161 mg/L) y el zinc (0.0147 mg/L).

Mayca (2019) documentó la presencia de elementos como arsénico, antimonio, manganeso, hierro y cadmio en concentraciones que exceden los estándares de calidad ambiental para el agua. Este fenómeno fue asignado a la geoquímica del campo de investigación, en la que la presencia de minerales ferromagnéticos en las formaciones geológicas contribuye a la contaminación del río Rímac.

Coila (2022) realizó un análisis meticuloso de metales pesados en tres muestras de agua, hallando concentraciones de arsénico (0.02782 mg/L en M3), cadmio (0.00005 mg/L en M1), cobre (0.002 mg/L en M2), mercurio (0.0005 mg/L en M2), plomo (0.0009 mg/L en M3), cromo (0.00054 mg/L en M2) y zinc (0.016 mg/L en M2). Todos estos valores se hallaron dentro de los parámetros estipulados por el Decreto Supremo N° 004-2017 MINAM y las normativas nacionales pertinentes.

Ortea (2022) informó que en el Segundo Punto de su investigación, los niveles de arsénico (0.0072 mg/L), aluminio (0.004 mg/L), manganeso (0.0788 mg/L), hierro (0.1

mg/L), cadmio (0.0002 mg/L), plomo (0.0004 mg/L) y cobre (0.001 mg/L) se mantuvieron por debajo de los límites establecidos en el ECA-Agua. En una evaluación adicional, los valores obtenidos para arsénico (0.00445 mg/L), aluminio (0.00459 mg/L), cobre (0.001 mg/L), boro (0.482 mg/L), plomo (0.0007 mg/L), cadmio (0.0004 mg/L), hierro (0.51 mg/L) y manganeso (0.0714 mg/L) también cumplieron con las normas establecidas.

Quispe (2024) estableció que en la población rural de Carata, ubicada en el distrito de Coata, las aguas subterráneas exhibieron concentraciones de arsénico que excedieron el límite permisible de 0.01 mg/L en las muestras M1 (0.001787 mg/L), M5 (0.01558 mg/L) y M2 (0.1065 mg/L). Además, se registraron niveles de aluminio que excedieron el límite establecido de 0.2 mg/L en M1 (0.22 mg/L) y M2 (0.40 mg/L), así como hierro en M2 (0.404 mg/L) y M5 (0.631 mg/L), superando el estándar de 0.3 mg/L. Además, el manganeso en M5 (3.406 mg/L) excedió el límite de 0.4 mg/L, y el sodio en M3 (40.80 mg/L), M4 (155.10 mg/L) y M5 (331.32 mg/L) excedió el límite permitido de 40 mg/L. En última instancia, las concentraciones de fósforo en M1 (0.17 mg/L), M2 (0.34 mg/L), M3 (0.17 mg/L) y M5 (0.11 mg/L) excedió el estándar de 0.1 mg/L estipulado en la normativa D.S. No 031-2010-SA).

Callata (2022) determinó que la calidad del agua superficial del río Torococha es inadecuada, con concentraciones de metales pesados que no satisfacen los límites permitidos establecidos por el ECA-Agua 2017 en las categorías evaluadas. En el río Coata, la estación CoatM3 evidenció excedencias en determinados parámetros como resultado del vertimiento del río Torococha. Por otro lado, las estaciones CoatM4 y CoatM5 se catalogaron exclusivamente para el riego de vegetales y la bebida de animales (subcategorías D1 y D2).

En suma, la presencia de metales pesados en cuerpos hídricos fluctúa en función de la localización geográfica y las fuentes de contaminación. Las investigaciones examinadas señalan que los metales más prevalentes en concentraciones que exceden los límites

permitidos son el arsénico, el plomo, el hierro, el aluminio y el manganeso. Aunque en ciertos escenarios los valores se alinean con los estándares regulatorios, en otros se superan los límites establecidos, particularmente en regiones con impacto de actividades mineras o vertidos industriales. Estos descubrimientos subrayan la imperatividad de un seguimiento constante y la instauración de estrategias para mitigar la contaminación y salvaguardar la salud humana y el ecosistema acuático.

4.3. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

4.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

La calidad de las aguas superficiales de acuerdo a la concentración de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados del río Coata, no se encuentran dentro de los parámetros del (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).

4.3.1.1. Planteamiento de la Hipótesis General

- **Hipótesis Nula (H_0):** La concentración de parámetros físico-químicos y metales pesados presentes en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, están dentro de los valores establecidos, por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.
- **Hipótesis Alterna (H_1):** La calidad de las aguas superficiales de acuerdo a la concentración de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados del río Coata, no se encuentran dentro de los parámetros del (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).

4.3.1.2. Contrastación de la Hipótesis General

De acuerdo con los análisis realizados:

- **Cumplen con los límites establecidos (No se rechaza H_0):** Algunos parámetros fisicoquímicos como Turbidez, Conductividad Eléctrica, Temperatura, Sólidos Totales Disueltos, pH, Fósforo Total, Oxígeno Disuelto, así como metales pesados como Cromo (Cr), Cobre (Cu), Arsénico (As) y Zinc (Zn), se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

- **Exceden los límites establecidos (Se rechaza H0 y se acepta H1):** Parámetros críticos como Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Nitrato (M2), Nitrito, Nitrógeno Amoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), y metales pesados como Mercurio (Hg), Aluminio (Al), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) superan los límites máximos permisibles establecidos por la normativa.

Dado que varios parámetros fisicoquímicos y metales pesados exceden los límites permitidos por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, se **rechaza la hipótesis nula (H0)** y se **acepta la hipótesis alterna (H1)**. Esto indica que la calidad de las aguas superficiales del río Coata está comprometida y no cumple con los estándares de calidad ambiental establecidos, representando un riesgo para la salud humana y el ecosistema acuático.

4.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 01

La concentración de parámetros físico-químicos presentes en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, exceden los valores establecidos, por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.3.1.1. Planteamiento de la Hipótesis Específica 01

- **Hipótesis Nula (H0):** La concentración de parámetros físico-químicos presentes en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, están dentro de los valores establecidos, por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.
- **Hipótesis Alterna (H1):** La concentración de parámetros físico-químicos presentes en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, exceden los valores establecidos, por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.3.1.2. Contrastación de la Hipótesis Específica 01

De los 12 parámetros evaluados:

- **Cumplen con los límites establecidos (No se rechaza H0):** Turbidez, Conductividad Eléctrica, Temperatura, Sólidos Totales Disueltos, pH, Fósforo Total y Oxígeno Disuelto.
- **Exceden los límites establecidos (Se rechaza H0 y se acepta H1):** DQO, DBO, Nitrato (M2), Nitrito y posiblemente Nitrógeno Amoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$).

Dado que varios parámetros críticos como DQO, DBO y nitritos exceden los límites permitidos, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1). Esto indica que la calidad del agua del río Coata está comprometida y excede los estándares de calidad establecidos por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

4.3.3. HIPÓTESIS ESPECÍFICA 02

La concentración de los metales pesados afecta la calidad del agua del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.

4.3.1.1. Planteamiento de la Hipótesis Específica 02

- **Hipótesis Nula (H0):** La concentración de los metales pesados no afecta la calidad del agua del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.
- **Hipótesis Alterna (H1):** La concentración de los metales pesados afecta la calidad del agua del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.

4.3.1.2. Contrastación de la Hipótesis Específica 02

De acuerdo con los análisis realizados:

- **Cumplen con los límites establecidos (No se rechaza H0):** Cromo (Cr), Cobre (Cu), Arsénico (As), Zinc (Zn).
- **Exceden los límites establecidos (Se rechaza H0 y se acepta H1):** Mercurio (Hg), Aluminio (Al), Cadmio (Cd), Plomo (Pb).

Dado que varios metales pesados como el mercurio, aluminio, cadmio y plomo superan los límites permitidos establecidos por el DS N° 004-2017-MINAM, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1). Esto indica que la concentración de

metales pesados afecta de manera significativa la calidad del agua del río Coata, comprometiendo su seguridad para el uso humano y la salud del ecosistema acuático.

CONCLUSIONES

Primera: La calidad de las aguas superficiales de acuerdo a la concentración de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados del río Coata, no se encuentran dentro de los parámetros del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, ya que varios parámetros fisicoquímicos y metales pesados, como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Nitrato, Nitrito, Nitrógeno Amoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), Mercurio (Hg), Aluminio (Al), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb), superan los valores máximos permitidos para cuerpos de agua de su categoría. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), confirmando que la calidad del agua no se encuentra dentro de los estándares de calidad ambiental establecidos. Esta situación representa un riesgo para la salud humana y el ecosistema acuático, evidenciando la necesidad de medidas de control y mitigación.

Segunda: Tras la evaluación de los parámetros físicoquímicos presentes en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024, y su comparación con los límites establecidos por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, se concluye que la calidad del agua está significativamente comprometida. Parámetros como turbidez (24.95 UNT en M1 y 24.86 UNT en M2, por debajo del límite de 100 UNT), conductividad eléctrica (185.90 $\mu\text{S/cm}$ en M1 y 174.40 $\mu\text{S/cm}$ en M2, dentro del límite de 1000 $\mu\text{S/cm}$), temperatura (17.10 °C en M1 y 17.50 °C en M2, variación aceptable), sólidos totales disueltos (93.20 mg/L en M1 y 87.10 mg/L en M2, dentro del límite de 100 mg/L), pH (7.35 en M1 y 8.31 en M2, dentro del rango de 6.5 a 9.0) y oxígeno disuelto (>6 mg/L en ambas

muestras, superior al límite de 5 mg/L) cumplen con los estándares establecidos. Sin embargo, parámetros críticos relacionados con la contaminación orgánica y química superan los valores máximos permitidos: la Demanda Química de Oxígeno (DQO) presenta valores de 110.20 mg/L en M1 y 94.10 mg/L en M2 (superando el límite de 30 mg/L), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) muestra 44.08 mg/L en M1 y 64.00 mg/L en M2 (límite 10 mg/L), el Nitrato (NO_3) alcanza 11.9 mg/L en M1 y 36.3 mg/L en M2 (límite 13 mg/L), el Nitrito (NO_2) con 1.07 mg/L en M1 y 1.04 mg/L en M2 (límite 1 mg/L), y el Nitrógeno Amoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) muestra 22.90 mg/L en M1 y 3.20 mg/L en M2. Estos resultados reflejan una alta carga contaminante de origen antrópico, probablemente debido a descargas de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales, así como el uso excesivo de fertilizantes. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), confirmando que los parámetros fisico-químicos exceden los valores normativos.

Tercera: Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian la presencia de metales pesados en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024. Se ha determinado que los niveles de aluminio (0.816 mg/L en M1 y 0.839 mg/L en M2, superando el límite de 0.2 mg/L), cadmio (<0.002 mg/L en ambas muestras, superando el límite de 0.00025 mg/L), plomo (0.018 mg/L en ambas muestras, superando el límite de 0.0025 mg/L) y mercurio (<0.0009 mg/L en ambas muestras, superando el límite de 0.0001 mg/L) superan los valores máximos establecidos por el ECA según el DS N° 004-2017-MINAM. Por otro lado, los niveles de cromo (<0.004 mg/L en ambas muestras, por debajo del límite de 0.011 mg/L), cobre (0.022 mg/L en M1 y 0.041 mg/L en M2, por debajo del límite de 0.1 mg/L), arsénico (0.011 mg/L en M1 y <0.005 mg/L en M2, por debajo del límite de 0.15 mg/L) y zinc (<0.05 mg/L en ambas muestras, por debajo del límite de 0.12 mg/L) se encuentran dentro de los valores permitidos. Aunque estos últimos no representan un riesgo inmediato, su monitoreo continuo es fundamental debido

a su potencial acumulación en el ecosistema. Con base en los resultados obtenidos, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1), concluyendo que la concentración de metales pesados afecta significativamente la calidad del agua del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.

RECOMENDACIONES

Primera: Se recomienda al Ministerio del Ambiente (MINAM) y las municipalidades locales implementar un sistema permanente de seguimiento para verificar la calidad de las aguas superficiales del río Coata, incluyendo el análisis de parámetros fisicoquímicos y niveles de metales pesados. Los datos obtenidos deberán contrastarse con las normas ambientales vigentes, a fin de detectar posibles riesgos y aplicar medidas correctivas a tiempo. Asimismo, se recomienda formular planes de gestión hídrica integral con el apoyo de la comunidad y del sector académico, promoviendo acciones preventivas, de mitigación y de educación ambiental para controlar la contaminación y resguardar la salud de la población.

Segunda: Se recomienda a la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en coordinación con las municipalidades de la Provincia de San Román, desarrollar un programa integral enfocado en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que permitan disminuir la carga contaminante orgánica y química. Además, es necesario realizar evaluaciones periódicas de la calidad del agua en puntos críticos del río Coata y ofrecer capacitación a las comunidades sobre el manejo responsable de fertilizantes y residuos. También se plantea fortalecer los mecanismos de control sobre las actividades urbanas, industriales y agrícolas, asegurando el cumplimiento de la normativa ambiental para proteger tanto el ecosistema como a la población que depende de este recurso.

Tercera: Se recomienda a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y al Ministerio del Ambiente (MINAM) fortalecer los programas de vigilancia y control en la cuenca del río

Coata, con el propósito de detectar y reducir las fuentes de contaminación por metales pesados. Es fundamental establecer normativas más exigentes para las operaciones industriales y mineras, fomentando prácticas sostenibles y una adecuada disposición de residuos. Paralelamente, se sugiere desarrollar campañas informativas dirigidas a la población local para promover su participación activa en el cuidado del agua y el uso responsable de este recurso vital.

BIBLIOGRAFÍA

- Arpi, J. A., & Yunga Guamán, M. J. (2017). *Evaluación de la calidad de agua de los sectores Corazón de María y Zhirincay de la Junta Administradora de agua potable Regional Bayas del Cantón Azogues* [bachelorThesis]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27128>
- Ascencio, M. P. (2011). Impacto de la actividad humana en la calidad del agua del Río Chia – Ingenio. *Universidad Nacional del Centro del Perú*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2594>
- Banco Central de Reserva del Perú Sucursal Puno. (2018). *Caracterización del departamento de Puno*. <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Puno/puno-caracterizacion.pdf>
- Benites, P. J. G. (2021). *Evaluación físico-química y microbiológica del agua consumida por la población y propuestas tendientes a su mejora, en Chulucanas, provincia de Morropón-Piura*. <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/1515>
- Calero, B. S. (2023a). *Evaluación del contenido de metales pesados en el agua superficial de desembocadura del río Chancay, Huaral, año 2021*. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/7797>
- Calero, B. S. (2023b). *Evaluación del contenido de metales pesados en el agua superficial de desembocadura del río Chancay, Huaral, año 2021*. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/7797>
- Cárdenas, J. A. (2022). *Calidad del agua para estudiantes de ciencias ambientales*. Ecoe Ediciones.
- Castro, S. (2019). Evaluación ambiental de la calidad de agua del sector a en el Centro Poblado Puyllucana, distrito Baños del Inca—Cajamarca. *Universidad Privada del Norte*.
- Ccora, B. (2022). *Evaluación de la calidad de agua para consumo humano de la localidad*

- de Acobamba. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/4728>
- Cesar, R., & Ataucusi, R. (2023). *Caracterización de parámetros físicos y químicos del recurso hídrico Tacsanapampa, Huancavelica 2022*.
<https://repositorio.unh.edu.pe/handle/unh/5795>
- Chacón, M. Y. (2017). *Análisis físico y químico de la calidad del agua*. Ediciones USTA.
- Chavez, D. R., & Culqui, C. A. (2022). Determinación de la calidad de agua del manantial que abastece a la población del sector las flores en el centro poblado Huambocancha Alta – Cajamarca, 2022. *Universidad Privada del Norte*.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/36094>
- Coila, F. J. (2022). Evaluación de la calidad del agua en la zona de confluencia de los rios Torococha y Coata Caracoto-San Román—Puno. *Universidad Nacional del Altiplano*. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18608>
- Coila, J. M. (2024). *Evaluación del nivel de contaminación por metales pesados en agua para riego y suelo agrícola en el distrito de Llalli provincia de Melgar—Puno*.
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/22066>
- Colavita, E. (2021). *Hablemos con el agua*. Ediciones Castillo.
- Delgado, T. M., & Zavala, P. C. (2021). Estudio de la concentración de metales pesados (arsénico, cadmio, mercurio y plomo) en agua para consumo humano en el departamento de Arequipa. *Repositorio Institucional - UMA*.
<https://repositorio.uma.edu.pe/handle/20.500.12970/417>
- Editores, I. C. B. (2017). *Calidad de Aguas: Usos y Aprovechamiento*. ICB Editores.
- Escobar, F. (2019). Determinación de parámetros físico-químicos y niveles de metales pesados en agua y sedimentos en la zona de crianza de truchas (*Oncorhynchus mykiss*), bahía de Puno del lago Titicaca. *Universidad Nacional del Altiplano*.
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/10379>
- Esquivel, I., & Maritza, G. (2012). *Elaboracion de un plan de manejo ambiental para la*

- conservacion de la sub cuenca del Rio San Pablo en el canton La Mana, provincia de Cotopaxi.* <http://localhost/handle/27000/1577>
- García, E., & Tucto, D. (2020). *Parámetros Químicos de la Calidad de Agua con Fines Agrícola y Pecuaria de los Ríos Chotano, Huancabamba y Chamayacajamarca. Universidad Nacional de Jaén.* <http://repositorio.unj.edu.pe/jspui/handle/UNJ/177>
- Gutierrez, M. M. (2023). *Evaluación de la calidad del agua de las subcuencas Achamayo y Shullcas utilizando el índice de calidad CCME.* <https://doi.org/10.21142/tl.2023.3169>
- Huarcaya, W., & Toribio, D. P. (2021). *Estudio de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua, en la sub cuenca del rio ichu.* <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/4417>
- Instituto Nacional de Recursos Naturales. (2019). *Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa.* Intendencia de Recursos Hídricos Administración Técnica del Distrito de Riego Juliaca. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/estudio_hidrologico_lampa_0_0.pdf
- Juarez, Y. K. (2023). *Determinación de la calidad del agua del río Moquegua en el tramo de influencia de la Feria de la Chacra a la Olla—Moquegua, 2021.* *Universidad Continental.* <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13205>
- Lanza, G. de la, & Hernández, S. (2000). *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores).* Plaza y Valdes.
- León, L. M. (2019). *Aprovechamiento sostenible de recursos hídricos pluviales en zonas residenciales.* <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7603>
- LLontop, E. O. (2018). *Influencia de los niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de las aguas residuales crudas con la cantidad de energía eléctrica utilizando celdas de combustible microbiana.*

- <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/2130>
- Lopez, J. M. (2019). *Evaluación de la calidad del agua para uso agrícola del río Challamayo, Tiquillaca—Puno*. Universidad Nacional del Altiplano. http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/14211/Lopez_Mamani_Jose_Manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mamani, R. (2022). Evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas de los manantiales Huayllani y Occororo Pujo para consumo humano en la Comunidad Añavile Distrito Cabana-San Roman-Puno-2021. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC S.A.C./236>
- Marin, C. J. (2012). *Calidad del agua de la laguna yarinacocha para uso recreacional*. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1083>
- Marsily, G. (2005). *El Agua*. Siglo XXI.
- Martínez, B. (2022). *Red Muqui—La Contaminación ambiental de la Cuenca del río Coata y los desafíos de la mesa de diálogo en Puno*. Equipo técnico de DHUMA-Puno. <https://muqui.org/la-contaminacion-ambiental-de-la-cuenca-del-rio-coata-y-los-desafios-de-la-mesa-de-dialogo-en-puno/10158>
- Mayca, G.-C. G. (2019). Calidad de agua del Río Rímac sector Chicla, Provincia de Huarochiri, departamento de Lima. *Universidad Nacional Federico Villarreal*. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/3607>
- Municipalidad Distrital de Caracoto—MDC*. (2024, abril 24). <https://www.gob.pe/municaracoto>
- Ñahui, D. F. (2023). Análisis de la calidad de agua para el consumo humano de los centros poblados del distrito de Yauli, Huancavelica—2023. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13303>
- Olaya, D. A., Jaramillo, P. J., Rios, R., & Beltrán, J. A. (2022). *Agua, ciudad y cultura: El caso de Cusco, Puerto Limón y Bogotá*. Universidad Piloto de Colombia.

- OMS. (2022). *Desarrollo de reglamentos y normas de calidad del agua de consumo humano: Orientación general con especial atención a los países con recursos limitados*. World Health Organization.
- Ortega, P. E. (2022). *Evaluación de la calidad del agua en la cuenca Coata aplicando el método ICARHS, Juliaca 2022*. Universidad Nacional del Altiplano. http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/20163/Ortega_Olvea_Pedro_Edinson.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Palomino, F. Y. (2022). *Evaluación de calidad de agua para consumo humano en el manantial estanco del sector Patawasi, Checacupe-Canchis-Cusco 2022*. Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14042>
- Perugachi, J. M., & Cachipuendo, C. (2020). *La lucha por el agua: Gestión comunitaria del proyecto de agua potable Pesillo-Imbabura*. SciELO - Editorial Abya-Yala.
- Pinedo, J. J. (2022a). *Características del agua potable de la red de distribución de la ciudad de Iquitos y percepción de calidad de los usuarios, Loreto 2019*. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1837>
- Pinedo, J. J. (2022b). *Características del agua potable de la red de distribución de la ciudad de Iquitos y percepción de calidad de los usuarios, Loreto 2019*. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1837>
- Quintero, F. J. (2022). *Impacto en la calidad del suelo y agua ocasionado por el botadero Municipal del Distrito Huanta, 2020*. Universidad Nacional Federico Villarreal. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/7230>
- Quispe, D. A. (2024). *Evaluación de la calidad de agua subterránea para consumo humano en la comunidad Carata, distrito de Coata*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Raffo, E. (2018). *Tratado del agua y la legislación peruana*. *Industrial Data*, 16(2), Article

2. <https://doi.org/10.15381/idata.v16i2.11928>
- Ríos, S., Agudelo, R. M., & Gutiérrez, L. A. (2022). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Rivas, W. (2013). *Calidad fisicoquímica del agua.: Métodos simplificados para su muestreo y análisis*. Universidad Piloto de Colombia.
- Rivera, I. G. (2021a). Evaluación de la concentración de los metales pesados (arsénico, plomo y zinc) en las aguas superficiales de la Laguna Patón, (Oyón, Perú). *Repositorio Institucional – UCS*. <https://doi.org/10.21142/tl.2021.2072>
- Rivera, I. G. (2021b). Evaluación de la concentración de los metales pesados (arsénico, plomo y zinc) en las aguas superficiales de la Laguna Patón, (Oyón, Perú). *Repositorio Institucional – UCS*. <https://doi.org/10.21142/tl.2021.2072>
- Rojas, L. F. (2018). Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de agua de consumo humano del centro poblado de San Marcos, distrito de Chontabamba, provincia de Oxapampa – 2018. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/412>
- Rojas, O. M. (2018). Evaluación de parámetros físico-químico y microbiológico del río Ragra afluente del río San Juan, para determinar la categoría de sus aguas – Simón Bolívar – Pasco – 2018. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/529>
- Rojas, R. P. (2021). Caracterización y determinación de la calidad del agua superficial de la unidad hidrográfica Coata-Región Puno. *Universidad Nacional del Altiplano*.
- Salazar, J. E. (2019). Evaluación del impacto de las aguas residuales sobre la calidad del agua del río Tarma en el período 2015-2019. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7893>

- Salazar, J. E. (2020). Evaluación del impacto de las aguas residuales sobre la calidad del agua del río Tarma en el período 2015-2019. *Universidad Continental*.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7893>
- Sierra, C. A. (2021). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. Ediciones de la U.
- Siguairo, W. (2019). Calidad de las aguas del río Choquechaca, lago Wiñaymarca y la captación por EMAPA - Yunguyo para la salud ambiental. *Universidad Nacional del Altiplano*.
- Suárez, Z. L., & Vargas, A. M. (2023). *Evaluación de la calidad y gestión del agua para consumo en la zona urbana de San Marcos, Áncash*.
<https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/63bc562c-da37-4ecc-8a87-c17cb078164e>
- Sygic Travel. (2020). *Departamento de Puno en Perú*.
<https://travel.sygic.com/es/poi/departamento-de-puno-city:9336>
- Torre, C. H. de la. (2015). Contaminación del agua y pobreza rural: El caso de la cuenca alta del río Vilcanota. Cusco. *Universidad Nacional Agraria La Molina*.
<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3013611>
- Torres, J. C. (2020). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en el centro poblado de Pomalca, distrito de Soritor—Moyobamba. *Repositorio - UNSM*.
<http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3941>
- Torres, R. del P. (2018). *A propósito del principio de gradualidad: Análisis del proceso de adecuación de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (ECA - agua) en la actividad de la gran y mediana minería en curso, desde el año 2008 al 2016*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio//handle/20.500.12404/9874>
- Torres, T., & Coronación, M. I. (2021). *Calidad de agua para consumo humano en los centros poblados de Pueblo Libre y Pampachacra*.
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3762>

- UNESCO. (2018). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261494>
- Valle, V. N. (2016). *Evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el agua residual doméstica de la ciudad de Quito* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13727>
- Vargas, Y., & Yaranga, J. (2024). Calidad de servicio y satisfacción de los usuarios del servicio de agua potable y alcantarillado del Distrito de Kimbiri, Cusco – 2020. *Repositorio Institucional - UPLA*. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/7206>
- Velázquez, J. I. (2020). *Cuantificación y análisis temporal de la evaporación natural en arenas húmedas*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2260687>
- Vera, C., Camilloni, I., & Kornblihtt, A. (2021). El ciclo sin fin del agua | Balance de agua global | Evaporación, la atmósfera se humedece | *Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología*.
- Weber, W. J. J. (2021). *Control de la calidad del agua: Procesos fisicoquímicos*. Reverte.
- Zambrano, J. M. (2023). Características físicas y químicas de las aguas del río Ronquillo influenciadas por factores externos, comparado con los estándares de calidad ambiental para consumo humano (ECA-1A). *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5974>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia “Evaluación de la calidad de las aguas superficiales del Río Coata, provincia San Román - Puno, 2024”

Problema		Objetivo		Hipótesis		Variable		Método	
Problema General		Objetivo General		Hipótesis General		Variable Independiente		Enfoque: Cuantitativo,.	
Evaluación de la calidad de las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.	¿Cuál es la calidad de las aguas superficiales de acuerdo a la concentración de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024?	Evaluar la calidad de las aguas superficiales de acuerdo a la concentración de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.	La calidad de las aguas superficiales de acuerdo a la concentración de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados del río Coata, no se encuentran dentro de los parámetros del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).	Parámetros fisicoquímicos y metales pesados	Tipo: Descriptivo - explicativo. Diseño: No experimental de corte longitudinal. Población: Río Coata Muestra: 2 muestras de agua. Técnica: Monitoreo ambiental mediante. Instrumentos: <ul style="list-style-type: none"> • Botellas polietileno blanco • Libreta de campo. • Cámara fotográfica. • Computadora personal (Laptop) • Alcohol, GPS • Cooler 				
	Problema Específico	Objetivo Específico	Hipótesis Específicas	Variable Dependiente					
¿Cuál es la concentración de parámetros fisico-químicos en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024?	Determinar la concentración de parámetros fisico-químicos presentes en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.	La concentración de parámetros fisico-químicos presentes en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, exceden los valores establecidos, por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.	Calidad del agua						
¿Cuál es la concentración de metales pesados en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024?	Determinar la concentración de metales pesados presentes en las aguas superficiales del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.	La concentración de los metales pesados afecta la calidad del agua del río Coata, Provincia San Román - Puno, 2024.							

Anexo 02: Estándar de calidad ambiental (ECA) para agua

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 geotermales, 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	0,719	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	2,30	0,767	0,255	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
FISICOS - QUÍMICOS				
Aceites 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
Níquel	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

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04	0,045

PLAGUICIDAS

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Paratión	µg/L	35	35

Organoclorados

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Aldrin	µg/L	0,004	0,7
Clordano	µg/L	0,006	7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDE)	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

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Aldicarb	µg/L	1	11

MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000
<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
FISICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MFH)	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 (D30 ₂)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/l	2,56	2,56	2,56	5,6	5,6
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 Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/l	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/l	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/l	0,12	0,12	0,12	0,061	0,061
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrín	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Rios		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
			Heptacloro Epoxido	mg/L	0,000036	0,000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenil (PCP)	mg/l	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
 (b) Después de la filtración simple.
 (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ($\text{NO}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3).
 Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se incluya lo contrario.
- (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH_3) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3).

Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7.0	41.00	29.00	20.00	14.00	9.40	6.60	4.40	3.10
7.2	26.00	18.00	12.00	8.70	5.90	4.10	2.80	2.00
7.4	17.00	12.00	7.80	5.30	3.70	2.60	1.80	1.20
7.6	10.00	7.20	5.00	3.40	2.40	1.70	1.20	0.84
7.8	6.60	4.70	3.10	2.20	1.50	1.10	0.75	0.53
8.0	4.10	2.90	2.00	1.40	0.97	0.69	0.47	0.34
8.2	2.70	1.90	1.30	0.87	0.62	0.44	0.31	0.23
8.4	1.70	1.20	0.81	0.56	0.41	0.29	0.21	0.16
8.6	1.10	0.75	0.53	0.37	0.27	0.20	0.15	0.11
8.8	0.69	0.50	0.34	0.25	0.18	0.14	0.11	0.08
9.0	0.44	0.31	0.23	0.17	0.13	0.10	0.08	0.07
Salinidad 20 g/kg								
7.0	44.00	30.00	21.00	14.00	9.70	6.60	4.70	3.10
7.2	27.00	19.00	13.00	9.00	6.20	4.40	3.00	2.10
7.4	18.00	12.00	8.10	5.60	4.10	2.70	1.90	1.30
7.6	11.00	7.50	5.30	3.40	2.50	1.70	1.20	0.84
7.8	6.90	4.70	3.40	2.30	1.60	1.10	0.78	0.53
8.0	4.40	3.00	2.10	1.50	1.00	0.72	0.50	0.34
8.2	2.90	1.90	1.30	0.94	0.66	0.47	0.31	0.24
8.4	1.90	1.20	0.84	0.56	0.44	0.30	0.22	0.16
8.6	1.10	0.78	0.56	0.41	0.28	0.20	0.15	0.12
8.8	0.72	0.50	0.37	0.26	0.19	0.14	0.11	0.08
9.0	0.47	0.34	0.24	0.18	0.13	0.10	0.08	0.07
Salinidad 30 g/kg								
7.0	47.00	31.00	22.00	15.00	11.00	7.20	5.00	3.40
7.2	29.00	20.00	14.00	9.70	6.60	4.70	3.10	2.20
7.4	19.00	13.00	8.70	5.90	4.10	2.90	2.00	1.40
7.6	12.00	8.10	5.60	3.70	3.10	1.80	1.30	0.90
7.8	7.50	5.00	3.40	2.40	1.70	1.20	0.81	0.56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4.70	3.10	2.20	1.60	1.10	0.75	0.53	0.37
8,2	3.00	2.10	1.40	1.00	0.69	0.50	0.34	0.25
8,4	1.90	1.30	0.90	0.62	0.44	0.31	0.23	0.17
8,6	1.20	0.84	0.59	0.41	0.30	0.22	0.16	0.12
8,8	0.78	0.53	0.37	0.27	0.20	0.15	0.11	0.09
9,0	0.50	0.34	0.26	0.19	0.14	0.11	0.08	0.07

Notas:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7.0 a 9.0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, 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 ($\text{NH}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH_3).

NOTA GENERAL:

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.
- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1529835-2

Anexo 03: Análisis de laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



N.º 003196

Certificado de Análisis

ASUNTO : ANALISIS DE AGUAS SUPERFICIALES

PROCEDENCIA : COATA

INTERESADO : MARY LUZ QUISPE QUISPE

PROYECTO : "EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIALES COATA, PROVINCIA SAN ROMAN-PUNO-2024"

MOTIVO : INVESTIGACIÓN

ANÁLISIS : CALIDAD DE AGUA

FECHA DE MUES : 11/10/2024, por el interesado

FECH. DE RECEP. : 11/10/2024

ANÁLISIS : 11/10/2024

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido

COLOR : Característico al agua superficial

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARAMETROS FÍSICO QUÍMICOS	UNIDAD	Muestra 01	Muestra 02	METODO ANALITICO
Potencial de Hidrogeno	pH	7.35	8.31	Potenciometro
Conductividad Eléctrica	µS/cm	185.90	174.40	Conductimetro
Temperatura	°C	17.10	17.50	Conductimetro
Fosforo	Mg/L	1.11	1.14	Volumétrico
Solidos Totales Disueltos	mg/L	93.20	87.10	Colorimetro
Oxígeno Disuelto	mg/L	>6	>6	Oximetro
Turbiedad	NTU	24.95	24.86	Turbidimetro
Nitrógeno Amoniacal	ppm	22.90	3.20	Metodo Nessler
Nitrato	mg/l	11.9	36.3	Colorimetro
Nitrito	mg/l	1.07	1.04	Colorimetro
Cloruros	mg/l			Metodo Mohar
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	110.20	94.10	Digestión cerrada
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	44.08	64.00	Digestión cerrada

Puno, C.U. 20 de noviembre del 2024

vºBº



INC. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISIS EN LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIG - UNA - CIP - 182393



Dr. Teófilo Donaires Flores
DECANO DE LA F.I.Q.
UNA - PUNO

Ciudad Universitaria Av. Floral Nº 1153, Facultad de Ingeniería Química – Cel.: 951755420



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Laboratorios Analíticos del Sur

Registro N° LC - 050

Clave generada : 281231

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-25-00007

Fecha de emisión: 3/2/2025

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	8023	796	800	802					
		Cl	As	Hg	Al	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AGZ5000017	QUEA NI	30,4	0,011	<0,0009	0,816	<0,002	<0,004	0,022	0,018	<0,05

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 1114126

Imprimir por: JUAN LUIS SOTO OJEDA, INGENIERO QUÍMICO, ESPECIALISTA EN OPERACIONES, Laboratorio de Certificación - LAMSA S.A. - 322025-17-00756

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

">Valor numérico"=Limite de detección del método, "<Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipe-Perú,(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía QR



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Laboratorios Analíticos del Sur

Registro N° LC - 050

Clave generada : 90970FA0

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-25-00008

Fecha de emisión: 4/02/2025

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	043	796	000	002					
		Cl	As	Hg	Al	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG25000018	QUEA MZ	27,1	h<0,00b	h<0,0009	0,839	h<0,002	h<0,004	0,041	0,018	h<0,0b

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 1114126

Impreso por: JUAN L. SOTO CARRERA ALIQUOTACIONES S. L. L. Calle de Santiago 1144, P. U. Arequipa, Arequipa, Perú. 051 84 444582

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"b">Valor numérico="Limite de detección del método. "B">Valor Numérico="Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú,(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía QR



Laboratorios Analíticos del Sur

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN
DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Registro N.º LE-050

Clave generada : 90970FA0

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-25-00008

Fecha de emisión: 4/02/2026

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES (Revisión 4.4, Arsenico Total) (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - As	[0.005 - 25] mg/L
800	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES (Revisión 4.4, Mercurio Total) (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Hg	[0.0029 - 10] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES (Revisión 4.4, Metales Totales) (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Al	[0.023 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES (Revisión 4.4, Metales Totales) (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Cd	[0.0011 - 50] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES (Revisión 4.4, Metales Totales) (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Cr	[0.0039 - 100] mg/L
807	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES (Revisión 4.4, Metales Totales) (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Cu	[0.017 - 100] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES (Revisión 4.4, Metales Totales) (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Pb	[0.03 - 100] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP-OES (Revisión 4.4, Metales Totales) (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO) - Zn	[0.031 - 50] mg/L
825	Norma SMPVAW-AP IA-AWWA-WTF Part 450-C1-C, 24th Ed. C11. CR11F. Mercury Nitrate Method	[1 - 5000] mg/L

a: Límite de detección b: Límite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Informe por: JUAN CARLOS CHAVEZ ALVARO GERENTE GENERAL OPERACIONES. Laboratorio certificado LA0101-AG-AC-25-00008-1400557

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA

"a" <Valor numérico> "b" Límite de detección del método, "c" <Valor Numérico> "d" Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier emienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Soco C-1-C, Colnado-Arcuquipa-Parú (054)448294 - (054)444682

Validar el informe
vía QR



Anexo 04: Evidencias fotográficas



Figura 03: Toma de muestras de aguas superficiales en el río Coata (CoatM1)



Figura 04: Toma de muestras de aguas superficiales en el río Coata (CoatM1)



Figura 05: Toma de muestras de aguas superficiales en el río Coata (CoatM2)



Figura 06: Toma de muestras de aguas superficiales en el río Coata (CoatM2)