

# UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**TESIS**

**MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL RÍO COATA Y LAGUNA**

**ESCURI DURANTE LA ÉPOCA DE ESTIAJE EN EL DISTRITO DE SAN**

**MIGUEL - SAN ROMÁN - PUNO, 2025**

**PRESENTADA POR:**

**EDWIN HUMBERTO SUCARI PALOMINO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO – PERÚ**

**2026**



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



# 2.91%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 5 MAR 2026, 10:56 PM

## Originality & Authorship Report

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

● IDENTICAL  
0.41%

● CHANGED TEXT  
2.49%

## Report #31805853

EDWIN HUMBERTO SUCARI PALOMINO // MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL RÍO COATA Y LAGUNA ESCURI DURANTE LA ÉPOCA DE ESTIAJE EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL - SAN ROMÁN - PUNO, 2025 RESUMEN El presente estudio tuvo como finalidad evaluar la calidad ambiental del agua del río Coata y de la laguna Escuri, ubicados en la jurisdicción del distrito de San Miguel, durante el periodo de estiaje. Para ello, se empleó el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial y se compararon los resultados obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, conforme a lo establecido en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo-explicativo, con un diseño longitudinal no experimental, considerando tres puntos de monitoreo: puente Maravillas, puente Independencia y la laguna Escuri. La evaluación incluyó el análisis de parámetros físico-químicos, biológicos y metales pesados durante las épocas de estiaje, transición y mayor precipitación. Los resultados indicaron que, en la época de estiaje, los parámetros biológicos, especialmente los coliformes totales, excedían los valores establecidos por los ECA en los tres puntos de monitoreo. De igual manera, se identificaron concentraciones elevadas de arsénico y mercurio, lo que sugiere la influencia de descargas de aguas residuales domésticas y otras fuentes contaminantes. Asimismo, se evidenciaron variaciones en la

# UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL RÍO COATA Y LAGUNA

DURANTE LA ESCURIA ÉPOCA DE ESTIAJE EN EL DISTRITO DE SAN

MIGUEL - SAN ROMÁN - PUNO, 2025

PRESENTADA POR:

EDWIN HUMBERTO SUCARI PALOMINO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

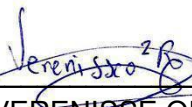
INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:   
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA


PRIMER MIEMBRO

:   
Dra. CELIA VERENISSEE ORTIZ DE ORUE ROJAS

SEGUNDO MIEMBRO

:   
Mtra. NATALY SILVIA GARCIA VILCA

ASESOR DE TESIS

:   
Mg. LUIS ALBERTH ROSSEL BERNEDO

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 20 de marzo del 2026.

## DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada, en primer lugar, a Dios, por brindarme salud, fortaleza y perseverancia para culminar este proceso académico. A mi madre ROSA PALOMINO COLCA, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y valores, que han sido el pilar fundamental en mi formación personal y profesional. A mi familia, por su comprensión, motivación constante y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación. A la gatita Masha, Gracias por tu compañía en cada momento de este proceso. Tu cariño y calma hicieron más llevadero este camino. Este logro también es un poquito tuyo

Finalmente, a mi hermana Dazuleny Rossie Sucari Palomino, quien con sus conocimientos, orientación y exigencia académica contribuyó significativamente a la culminación de este trabajo de investigación.

## AGRADECIMIENTOS

- Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de esta investigación.
- En primer lugar, agradezco a mi asesora, ING. DAZULENY ROSSIE SUCARI PALOMINO, por su orientación, paciencia y valiosos aportes que fortalecieron esta investigación. De igual manera, agradezco a mi asesor Luis Rossel Bernedo y a la terna de jurados evaluadores, conformada por Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda (Presidente), Dra. Celia Verenissee Ortiz de Orue Rojas (Primer Miembro) y Mtra. Nataly Silvia García Vilca (Segundo Miembro), cuyas recomendaciones y observaciones enriquecieron la calidad del trabajo.
- A mi madre, Rosa Palomino Colca, Gracias por tu amor infinito, por tu paciencia y por ser mi mayor apoyo en cada etapa de este camino. Has sido mi fuerza en los momentos difíciles y mi inspiración para seguir adelante cuando más lo necesitaba. Este logro no solo me pertenece, sino que es también el reflejo de todos tus esfuerzos, sacrificios y enseñanzas.
- Agradezco también a mi familia y a la gatita masha, por su apoyo incondicional, motivación y comprensión durante los momentos de dedicación intensa al desarrollo de esta tesis.
- Finalmente, a la gatita Masha, por acompañarme en las malas noches, por tu compañía incondicional y por brindarme calma en los momentos de estrés. Gracias por estar siempre a mi lado, haciendo más llevadero este camino.
- A todos ustedes, mi profundo agradecimiento por su compromiso, apoyo y confianza, los cuales hicieron realidad la culminación de este trabajo académico.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE ANEXOS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>16</b>
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	19
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	19
<b>1.2. ANTECEDENTES</b>	<b>19</b>
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	19
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	21
1.2.3. ANTECEDENTES REGIONALES	23
<b>1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>25</b>
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	25
1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	25

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>2.1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>26</b>
---------------------------	-----------

2.1.1. AGUA	26
2.1.2. CALIDAD DEL AGUA	26
2.1.3. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA	26
2.1.4. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	30
2.1.5. CONTAMINACIÓN HÍDRICA	30
2.1.6. CONTAMINACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO COATA	31
2.1.7. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE ACUERDO A LAS NORMAS	33
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>34</b>
<b>2.3. MARCO NORMATIVO</b>	<b>38</b>
<b>2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>39</b>
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	39
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	39

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>41</b>
3.1.1. ÁREA DE ESTUDIO	42
<b>3.2. TAMAÑO DE MUESTRA</b>	<b>43</b>
<b>3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS</b>	<b>45</b>
3.3.1. METODOLOGÍA	45
3.3.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA	47
<b>3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>51</b>
<b>3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO</b>	<b>52</b>

### **CAPÍTULO IV**

#### **EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS**

<b>4.1. EVALUAR EL ESTADO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA SUPERFICIAL DEL RÍO COATA Y LA LAGUNA ESCURI EN LA</b>	
---	--

<b>JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL DURANTE LA ÉPOCA DE ESTIAJE, EN FUNCIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y METALES PESADOS ESTABLECIDOS EN EL ESTÁNDAR DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA (D.S. N.º 004-2017-MINAM), CATEGORÍAS 1, 3 Y 4.</b>	<b>54</b>
4.1.1. PARÁMETROS QUE SUPERARON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL	60
4.1.2.. DISCUSIÓN: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA DEL RÍO COATA Y LA LAGUNA ESCURI EN LA JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL DURANTE LA ÉPOCA DE ESTIAJE	61
<b>4.2. DETERMINAR LAS CONCENTRACIONES DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y METALES PESADOS EN EL RÍO COATA Y LA LAGUNA ESCURI EN LA JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL DURANTE LA ÉPOCA DE ESTIAJE, CONFORME AL PROTOCOLO NACIONAL DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES.</b>	<b>62</b>
4.2.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS EN EL RÍO COATA – PUENTE INDEPENDENCIA	62
4.2.2. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS EN EL RÍO COATA – PUENTE MARAVILLAS	63
4.2.3. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS EN LA LAGUNA ESCURI	64
4.2.4. ESTADO FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO: RANGOS	65
4.2.5. INTERPRETACIÓN TÉCNICA DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS	68
4.2.6. COMPARATIVA FINAL	86
4.2.7. DISCUSIÓN: ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS EN	

ÉPOCA DE ESTIAJE APLICANDO EL PROTOCOLO NACIONAL DE MONITOREO	86
<b>4.3. COMPARAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ÉPOCA DE ESTIAJE CON LOS CORRESPONDIENTES A ÉPOCA MEDIA Y ÉPOCA ALTA DE PRECIPITACIONES, A FIN DE IDENTIFICAR DIFERENCIAS ESTACIONALES EN LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, EN LA JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL, 2025.</b>	<b>89</b>
4.3.1. ESTACIÓN DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA: PUENTE RÍO MARAVILLAS (3 ÉPOCAS)	89
4.3.2. PUNTO DE MONITOREO DE AGUA: PUENTE INDEPENDENCIA (3 ÉPOCAS)	93
4.3.3 PUNTO DE MONITOREO DE AGUA: LAGUNA ESCURI CORIHUATA (3 ÉPOCAS)	96
4.3.4 COMPARATIVA FINAL	99
4.3.5 DISCUSIÓN: COMPARACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL DEL AGUA SEGÚN LA ESTACIONALIDAD CLIMÁTICA	100
<b>4.4. DISCUSIÓN GENERAL DE LOS RESULTADOS</b>	<b>102</b>
<b>4.5. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS</b>	<b>102</b>
4.5.1. PRUEBA DE LA HIPÓTESIS GENERAL	103
4.5.2. PRUEBA DE LA PRIMERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA	104
4.5.3. PRUEBA DE LA SEGUNDA HIPÓTESIS ESPECÍFICA	106
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>108</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>110</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>112</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>117</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 01:</b> Ubicación y coordenadas de las estaciones de muestreo.	45
<b>Tabla 02:</b> Operacionalización de variables	51
<b>Tabla 03:</b> Parámetros fisicoquímicos y biológicos generales comparados con ECAs	55
<b>Tabla 04:</b> Comparativa de parámetros de calidad del agua -Río Coata (puente independencia, puente río maravillas) y Laguna Escuri – época de estiaje, 2025	58
<b>Tabla 05:</b> Rangos de los parámetros físicos, químicos y biológicos	65
<b>Tabla 06:</b> Aceites y grasas	68
<b>Tabla 07:</b> Demanda bioquímica de oxígeno $DBO_5$	70
<b>Tabla 08:</b> Demanda química de oxígeno DQO	71
<b>Tabla 09:</b> Oxígeno disuelto	73
<b>Tabla 10:</b> Sulfatos	74
<b>Tabla 11:</b> Cianuro total	76
<b>Tabla 12:</b> Amonio ( $NH_3$ )	77
<b>Tabla 13:</b> Nitratos ( $NO_3^-$ )	78
<b>Tabla 14:</b> Nitritos ( $NO_2^-$ )	80
<b>Tabla 15:</b> Coliformes totales	81
<b>Tabla 16:</b> Mercurio (Hg)	82
<b>Tabla 17:</b> Arsénico (As)	83
<b>Tabla 18:</b> Dureza total	85
<b>Tabla 19:</b> Comparativa de parámetros y resultados en la estación de control de calidad del agua en el puente maravillas	91
<b>Tabla 20:</b> Comparativa de parámetros y resultados de la estación de control de calidad del agua en el puente independencia	94

**Tabla 21:** Comparativa de parámetros y resultados de la estación de control del  
agua en la laguna escuri

97

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 01:</b> Ubicación de los puntos de monitoreo en el Río Coata y Laguna Escuri época de estiaje, 2025. en punto de monitoreo Puente Maravillas, Laguna Escuri y Puente Independencia.	43
<b>Figura 02:</b> Vista General de la Zona de Estudio (Puente Independencia)	122
<b>Figura 03:</b> Toma de muestra de Agua en el Punto 01 (Puente Independencia)	122
<b>Figura 04:</b> Vista General de la Zona de Estudio ( Puente Rio Maravillas)	123
<b>Figura 05:</b> Toma de muestra de Agua en el Punto 02 (Puente Rio Maravillas)	123
<b>Figura 06:</b> Vista General de la Zona de Estudio (Laguna Escuri)	124
<b>Figura 07:</b> Toma de muestra de Agua en el Punto 03 ( Laguna Escuri)	124
<b>Figura 08:</b> Recolección de Muestras de Agua de los puntos 01, 02 y 03	125
<b>Figura 09:</b> Acondicionamiento de las Muestras para su traslado al laboratorio ALAB	125

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 01:</b> Matriz de consistencia	118
<b>Anexo 02:</b> Ficha de recolección de datos	121
<b>Anexo 03:</b> Panel fotográfico	122
<b>Anexo 04:</b> Resultados de laboratorio	126

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como finalidad evaluar la calidad ambiental del agua del río Coata y de la laguna Escuri, ubicados en la jurisdicción del distrito de San Miguel, durante el periodo de estiaje. Para ello, se empleó el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial y se compararon los resultados obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, conforme a lo establecido en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo-explicativo, con un diseño longitudinal no experimental, considerando tres puntos de monitoreo: puente Maravillas, puente Independencia y la laguna Escuri. La evaluación incluyó el análisis de parámetros físico-químicos, biológicos y metales pesados durante las épocas de estiaje, transición y mayor precipitación. Los resultados indicaron que, en la época de estiaje, los parámetros biológicos, especialmente los coliformes totales, excedían los valores establecidos por los ECA en los tres puntos de monitoreo. De igual manera, se identificaron concentraciones elevadas de arsénico y mercurio, lo que sugiere la influencia de descargas de aguas residuales domésticas y otras fuentes contaminantes. Asimismo, se evidenciaron variaciones en la calidad del agua entre las distintas épocas hidrológicas, observándose mayores niveles de contaminación durante el estiaje, asociados a la reducción del caudal y a una menor capacidad de dilución. En conclusión, durante la época de estiaje no se cumple con los estándares de calidad ambiental del agua en el río Coata ni en la laguna Escuri, lo que representa un riesgo potencial para la salud humana y el equilibrio del ecosistema acuático, confirmándose las hipótesis planteadas en la investigación.

**Palabras clave:** Calidad del agua, Contaminación hídrica, Estándares de Calidad ambiental (ECA), Época de estiaje, Parámetros físico-químicos y biológicos.

## ABSTRACT

This research aimed to determine the environmental water quality of the Coata River and Escuri Lagoon, within the jurisdiction of the San Miguel district, during the dry season. The National Protocol for Monitoring the Quality of Natural Surface Water Bodies was applied, and the results were compared with the Environmental Quality Standards (EQS) for water established in Supreme Decree No. 004-2017-MINAM. The study employed a quantitative, descriptive-explanatory approach with a longitudinal, non-experimental design. Three monitoring points were considered: Maravillas Bridge, Independencia Bridge, and Escuri Lagoon. Physicochemical, biological, and heavy metal parameters were evaluated during the dry, medium, and high rainfall seasons. The results showed that, during the dry season, biological parameters, primarily total coliforms, significantly exceeded the values established by the Environmental Quality Standards (EQS) at all monitoring points, as did elevated concentrations of arsenic and mercury, indicating a high influence of domestic wastewater discharges and other polluting sources. Furthermore, significant variations in water quality were identified between the different hydrological seasons, with higher concentrations of pollutants observed during the dry season due to the reduced dilution of the flow. In conclusion, the environmental quality of the water in the Coata River and Escuri Lagoon does not meet the Environmental Quality Standards for water during the dry season, representing a risk to human health and the balance of the aquatic ecosystem, thus confirming the hypotheses put forward in the research.

**Keywords:** Water quality, Water pollution, Environmental Quality Standards (EQS), Dry season, Physical-chemical and biological parameters.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación aborda el monitoreo de la calidad ambiental del agua del río Coata y de la laguna Escuri, entendido como un proceso de evaluación sistemática de las características físico-químicas y biológicas de cuerpos de agua superficial, con el propósito de determinar su estado ambiental y su nivel de cumplimiento respecto a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. La calidad ambiental del agua constituye un indicador relevante del equilibrio de los ecosistemas acuáticos y del bienestar de las poblaciones que dependen, directa o indirectamente, de este recurso.

El agua constituye un recurso indispensable para la vida, el desarrollo social y la estabilidad de los ecosistemas, especialmente en regiones altoandinas donde su disponibilidad es estacional. Sin embargo, a pesar de su aparente disponibilidad, solo una fracción reducida del total existente en el planeta corresponde a agua dulce accesible para el consumo y uso humano. En las últimas décadas, la calidad de este recurso ha experimentado un deterioro progresivo como consecuencia del incremento de las actividades antrópicas, entre las que se incluyen el vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales sin tratamiento adecuado, las prácticas agrícolas y ganaderas intensivas, la actividad minera, el transporte y manejo de sustancias peligrosas, así como la disposición inadecuada de residuos sólidos. Estas actividades ejercen una presión constante sobre los cuerpos de agua superficiales, afectando su calidad ambiental y limitando su aptitud para distintos usos, especialmente el consumo humano, la conservación del ambiente acuático y el desarrollo de actividades productivas.

La problemática central que sustenta este estudio se vincula con el deterioro progresivo de la calidad del agua en los cuerpos hídricos de la región altiplánica, en particular en aquellos que reciben descargas de origen antrópico. En este contexto, el río Coata presenta una situación ambiental crítica debido a la recepción continua de aguas

residuales domésticas, residuos sólidos y efluentes con presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos, procedentes principalmente de la ciudad de Juliaca y de diversas actividades productivas desarrolladas en su cuenca. Esta situación se intensifica durante la época de estiaje, periodo en el cual la reducción del caudal disminuye la capacidad de dilución del río, favoreciendo el incremento de la concentración de contaminantes. De forma complementaria, la laguna Escuri, como parte del sistema hídrico local, también se encuentra expuesta a procesos de contaminación que pueden afectar su equilibrio ecológico.

Para una adecuada comprensión de esta problemática es necesario considerar sus principales causas. Entre ellas se encuentran el crecimiento urbano no planificado, la limitada cobertura de sistemas de tratamiento de aguas residuales, el uso inadecuado del recurso hídrico en actividades agrícolas y ganaderas, así como la insuficiente fiscalización ambiental. Estas condiciones generan una presión permanente sobre los cuerpos de agua superficiales, comprometiendo no solo su calidad ambiental, sino también su potencial para usos actuales y futuros, como el abastecimiento poblacional, la conservación del ambiente acuático y el desarrollo de actividades productivas sostenibles.

El interés de esta investigación radica en su dimensión ambiental y social, dado el riesgo para la salud de la población en el distrito de San Miguel y los ecosistemas asociados. Desde el ámbito académico, proporciona datos técnicos actualizados sobre parámetros de calidad en sistemas altoandinos, especialmente en estiaje, cuando los impactos contaminantes se manifiestan con mayor intensidad.

Su principal aporte consiste en una evaluación integral de la calidad del agua en río Coata y laguna Escuri, mediante monitoreos en puntos estratégicos conforme al Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial. Los resultados contrastan con los ECA del D.S. N.º 004-2017-MINAM,

identifican parámetros críticos, niveles de cumplimiento y proponen medidas para prevenir, controlar y mitigar la contaminación hídrica en la zona

Finalmente, la tesis se estructura en cinco capítulos. El primer capítulo desarrolla el planteamiento del problema, los antecedentes, los objetivos y la justificación de la investigación. El segundo capítulo presenta el marco teórico y conceptual que sustenta el estudio. El tercer capítulo describe la metodología empleada, incluyendo el área de estudio, el diseño de investigación y los procedimientos de muestreo y análisis. El cuarto capítulo expone y analiza los resultados obtenidos, en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. El quinto capítulo aborda la discusión de los resultados, así como las conclusiones y recomendaciones orientadas a fortalecer la gestión y protección de la calidad ambiental del agua del río Coata y la laguna Escuri.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua dulce es un recurso esencial para la vida, el desarrollo económico y el equilibrio de los ecosistemas; sin embargo, su disponibilidad y calidad se ven cada vez más afectadas a nivel global por las actividades humanas. El crecimiento poblacional, el uso inadecuado del recurso y las desigualdades en su acceso han intensificado la presión sobre los recursos hídricos internos, los cuales deben ser distribuidos entre un número creciente de personas. Esta situación reduce la disponibilidad per cápita y favorece la aparición de escenarios de estrés hídrico y procesos de contaminación progresiva, comprometiendo tanto la cantidad como la calidad del agua destinada a los distintos usos humanos y ambientales (Gleick y Cooley, 2021).

En el contexto internacional, la contaminación de las aguas superficiales constituye uno de los principales problemas ambientales de la actualidad. El crecimiento poblacional, la expansión urbana sin una planificación adecuada y el incremento de las actividades productivas han generado una presión constante sobre los cuerpos de agua, los cuales reciben descargas de aguas residuales de origen doméstico, industrial y agrícola, muchas veces sin tratamiento previo. Esta situación ha contribuido al deterioro progresivo de la calidad del agua y al incremento de riesgos para los ecosistemas acuáticos y la salud humana, especialmente en los países en desarrollo, donde la gestión del saneamiento presenta mayores limitaciones (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos

Hídricos, 2012).

A nivel nacional, el Perú enfrenta importantes desafíos en la gestión integral de sus recursos hídricos, particularmente en aquellas regiones donde el crecimiento urbano ha superado la capacidad de la infraestructura sanitaria y ambiental. La limitada cobertura de plantas de tratamiento de aguas residuales, la disposición inadecuada de residuos sólidos y la insuficiente fiscalización ambiental han incidido en el deterioro de numerosos ríos y cuerpos de agua superficial. Esta problemática se acentúa en las zonas altoandinas, donde la fragilidad de los ecosistemas acuáticos y la marcada estacionalidad climática influyen directamente en la concentración de contaminantes, siendo la época de estiaje el periodo más crítico debido a la reducción del caudal y la menor capacidad de dilución.

En el ámbito local, la cuenca del río Coata, ubicada en la provincia de San Román, región Puno, presenta una situación ambiental particularmente crítica. La subcuenca baja del río Coata se encuentra fuertemente influenciada por la ciudad de Juliaca, la cual genera elevados volúmenes de aguas residuales municipales y residuos sólidos. De acuerdo con Ocola y Laqui (2017), el río Torococha es empleado como entidad receptora de descargas ilegales, no controladas y de efluentes provenientes de las lagunas de oxidación de Juliaca, constituyéndose en una de las principales fuentes de contaminación del río Coata. Estas descargas afectan directamente la calidad ambiental del agua, incrementando la carga orgánica, así como la presencia de contaminantes riesgosos y nutrientes con consecuencias negativas para el ecosistema acuático y los usos del recurso hídrico.

Diversos informes oficiales han evidenciado las consecuencias de esta contaminación sobre el ecosistema acuático y la fauna silvestre. El Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2018) reportó que los residuos sólidos y las aguas residuales municipales, particularmente aquellas provenientes de las lagunas de oxidación que desembocan en el río Coata, afectan gravemente a la fauna silvestre, incluyendo aves,

anfibios y otras especies, provocando intoxicaciones y mortandad. Un hecho emblemático ocurrió en el año 2016, cuando se registró la muerte masiva de numerosos especímenes de la rana gigante del Titicaca (*Telmatobius culeus*) a lo largo de más de 50 km del río Coata, atribuida a los elevados niveles de contaminación presentes en el agua.

A pesar de la gravedad de esta problemática, existe una limitada disponibilidad de estudios recientes que evalúen de manera sistemática la calidad ambiental del agua del río Coata y de cuerpos de agua asociados, como la laguna Escuri, especialmente considerando la variabilidad estacional (época alta, media y baja de precipitaciones). La ausencia de información actualizada dificulta la comprensión del estado real del recurso hídrico y la verificación de su cumplimiento con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua definidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

Las principales causas del problema identificado se vinculan con el desecho continuo de aguas residuales sin un tratamiento apropiado, la disposición inadecuada de residuos sólidos, el crecimiento urbano no planificado y las limitaciones en la gestión ambiental del recurso hídrico. Estas condiciones han generado un deterioro progresivo de la calidad del agua, afectando el equilibrio de los ecosistemas acuáticos y provocando la pérdida de biodiversidad. Asimismo, esta situación representa un riesgo para la salud humana y reduce la capacidad del recurso hídrico para satisfacer usos productivos, ambientales y sociales.

Ante esta situación, la presente investigación aporta información técnica y científica relevante mediante el monitoreo de la calidad ambiental del agua del río Coata y la laguna Escuri, durante la época de estiaje y en comparación con otras etapas hidrológicas. Los resultados obtenidos permitirán identificar parámetros críticos, evaluar el cumplimiento normativo y constituir una base objetiva para la formulación de medidas de control, mitigación y administración sostenible del recurso hídrico en el área de competencia del distrito de San Miguel.

### **1.1.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es el estado de la calidad ambiental del agua superficial del río Coata y la laguna Escuri durante la época de estiaje en el distrito de San Miguel, en relación con el cumplimiento de los parámetros establecidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM para las categorías 1, 3 y 4?

### **1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

¿Los parámetros evaluados del río Coata y la laguna Escuri exceden los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental ECA (D.S. N.º 004-2017-MINAM), categorías 1, 3 y 4, en la jurisdicción del distrito de San Miguel durante la época de estiaje?

¿Se presentan variaciones en el estado ambiental del agua entre la época de estiaje, época media y época alta de precipitaciones del río Coata y la laguna Escuri en la jurisdicción del distrito de San Miguel?

## **1.2. ANTECEDENTES**

### **1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

**Cumbal y Bustamante (2023)**, evaluaron la calidad del agua superficial en la microcuenca del río Sicalpa, cantón Colta, durante la temporada seca, con el propósito de identificar el grado de afectación ambiental asociado a las actividades humanas. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y descriptivo, mediante la recolección de muestras en 24 puntos georreferenciados a lo largo de la microcuenca. Se analizaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos, incluyendo pH, turbidez, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, nutrientes y coliformes fecales. Los resultados evidenciaron un deterioro progresivo de la calidad del agua en los tramos influenciados por asentamientos humanos y actividades productivas, con valores del Índice de Calidad del Agua entre 67,90 y 68,42, clasificados como calidad regular. Los

autores concluyen que la presión antrópica constituye un factor determinante en la degradación del recurso hídrico superficial.

**Fábrega (2022)**, realizó una evaluación de la calidad del agua superficial del río Mariato, afluente que desemboca en el Golfo de Montijo y forma parte del área de influencia del Parque Nacional Coiba, con el fin de identificar posibles impactos derivados de actividades rurales y asentamientos humanos. El estudio se desarrolló entre 2019 y 2020 bajo un enfoque cuantitativo y diseño no experimental, considerando el tramo final del río como punto de análisis. Se efectuaron campañas de muestreo en épocas lluviosa y seca para evaluar la variabilidad estacional, analizando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como pH, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos disueltos totales y coliformes totales y fecales. Los resultados, contrastados con la normativa COPANIT, evidenciaron fluctuaciones estacionales en los parámetros evaluados, destacándose incrementos de oxígeno disuelto y coliformes totales en época lluviosa, y mayores concentraciones de sólidos disueltos y coliformes fecales durante la estación seca. En términos generales, el tramo evaluado presentó una calidad de agua aceptable, aunque condicionada por la estacionalidad climática.

**Brito (2022)**, desarrolló una investigación orientada a evaluar la contaminación por metales pesados en el río Cuchipamba, ubicado en la provincia de Morona Santiago, con el propósito de analizar su impacto sobre la calidad del agua. El estudio se realizó bajo un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental y alcance descriptivo, considerando diversos puntos de muestreo a lo largo del cauce del río. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos y se determinaron concentraciones de arsénico, mercurio y plomo mediante análisis de laboratorio. Los resultados evidenciaron que, durante los meses de noviembre, diciembre y enero, en el punto de muestreo PM-04 se registraron concentraciones de plomo superiores al valor máximo permisible establecido por la normativa ambiental vigente, con valores que oscilaron entre 0,004 y 0,0046 mg/L.

Asimismo, se detectaron concentraciones de mercurio de hasta 0,00014 mg/L, confirmando la presencia de contaminación metálica en el cuerpo de agua. En función de estos resultados, el autor concluyó que el deterioro de la calidad del agua se encuentra asociado principalmente a actividades de minería informal y a la ausencia de sistemas adecuados de tratamiento de aguas residuales.

### 1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

**Vargas (2025)**, realizó un estudio destinado a evaluar la calidad del agua para consumo humano en la zona rural de Luricocha, provincia de Huanta, con la finalidad de verificar su cumplimiento con los estándares establecidos en el Decreto Supremo N.° 031-2010-SA y el Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo y diseño no experimental, a partir del análisis de 108 muestras de agua recolectadas en tres puntos representativos durante las épocas seca y lluviosa. Los análisis de laboratorio incluyeron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos relevantes para la potabilidad del agua. Los resultados mostraron que, si bien la temperatura se mantuvo dentro de los rangos permitidos, se registraron excedencias en los valores de turbidez en el sector Ocana y niveles de pH superiores a 8,5 en determinados puntos de muestreo. Asimismo, se identificaron concentraciones elevadas de aluminio, hierro y coliformes totales, lo que evidenció deficiencias en la calidad del agua y potenciales riesgos para la salud de la población. El estudio concluyó que estas limitaciones se encuentran asociadas a una gestión inadecuada del sistema de abastecimiento, recomendándole el fortalecimiento del control sanitario y la capacitación de los operadores de las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento.

**Carhuaricra (2024)**, realizó una investigación orientada a evaluar la calidad del agua superficial en el área de influencia de la Unidad Económica Administrativa Breapampa, ubicada en la provincia de Parinacochas, Ayacucho, como parte de las acciones de control y protección ambiental. El estudio tuvo como finalidad verificar el cumplimiento de

los Estándares de Calidad Ambiental para Agua establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y con diseño no experimental, considerando estaciones de monitoreo estratégicamente ubicadas dentro del área de estudio. Se analizaron parámetros de campo, como pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y caudal, así como parámetros fisicoquímicos y concentraciones de metales pesados mediante análisis de laboratorio. Los resultados indicaron que la mayoría de los parámetros evaluados, incluidos aceites y grasas, cianuro y metales como arsénico, mercurio, plomo y cadmio, se mantuvieron dentro de los límites normativos. Sin embargo, se registraron excedencias puntuales de manganeso en una de las estaciones de monitoreo, superando los valores permitidos para la categoría 3, así como concentraciones elevadas de magnesio en la categoría D2. En conclusión, el estudio evidenció que, aunque la calidad del agua cumple en términos generales con la normativa ambiental vigente, la presencia de desviaciones específicas resalta la necesidad de mantener un monitoreo permanente

**Ñahui (2023)**, desarrolló una investigación con el propósito de evaluar la calidad del agua destinada al consumo humano en diversos centros poblados del distrito de Yauli, región de Huancavelica, verificando el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, categoría 1, según el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. El estudio se abordó a partir del análisis de muestras recolectadas en centros poblados representativos de la zona. Los análisis de laboratorio incluyeron variables como pH, turbidez, conductividad, coliformes totales y coliformes fecales. Los resultados mostraron que en Izcumachay y Choca el agua cumplió con los estándares para consumo humano; sin embargo, en Villa Hermosa y Torreccacca, aunque los parámetros fisicoquímicos se mantuvieron dentro de los límites permisibles, se evidenciaron incumplimientos en los indicadores microbiológicos. El estudio concluyó que la calidad del agua presenta diferencias

significativas dentro del área evaluada, lo que pone en evidencia la necesidad de reforzar los sistemas de tratamiento y monitoreo para asegurar la protección de la salud pública.

**González et al. (2023)**, realizaron un estudio en seis comunidades rurales altoandinas de la región Huancavelica con la finalidad de evaluar la calidad del agua almacenada en reservorios destinados al consumo humano. La investigación se desarrolló considerando 17 reservorios ubicados a altitudes comprendidas entre los 3 782 y 4 196 m s. n. m. La evaluación incluyó el análisis de parámetros fisicoquímicos, como turbidez, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales, así como indicadores microbiológicos, entre ellos *Escherichia coli*, coliformes termotolerantes y coliformes fecales. Los resultados mostraron que la mayoría de los reservorios presentó condiciones físicas aceptables, ya que solo un reducido porcentaje superó el límite permisible de turbidez. En conclusión, el estudio determinó que, aunque la calidad fisicoquímica del agua es mayoritariamente adecuada, la contaminación microbiológica constituye un riesgo relevante para la salud de las poblaciones rurales evaluadas.

### 1.2.3. ANTECEDENTES REGIONALES

**Quispe (2024)**, desarrolló una investigación orientada a evaluar la calidad del agua subterránea destinada al consumo humano en la comunidad campesina de Carata, distrito de Coata. La metodología incluyó la evaluación de parámetros fisicoquímicos y la determinación de metales, cuyos resultados fueron contrastados con el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (Decreto Supremo N.º 031-2010-SA). Los resultados evidenciaron que en algunas muestras se registraron concentraciones de arsénico que superaron el límite máximo permisible de 0,01 mg/L, alcanzando valores cercanos a 0,011 mg/L, lo que indica un incumplimiento de la normativa vigente, asimismo, se identificaron excedencias en los niveles de aluminio y hierro en determinados puntos de muestreo, lo que refleja un deterioro de la calidad del agua subterránea. En consecuencia, el autor concluyó que el agua evaluada no es apta para el

consumo humano directo; no obstante, señaló que su potabilización podría lograrse mediante la implementación de sistemas adecuados de saneamiento básico a nivel familiar.

**Ortega (2023)**, evaluó la calidad ambiental del agua del río Coata en la ciudad de Juliaca mediante la aplicación del índice ICARHS, considerando dos periodos de monitoreo y tres puntos de muestreo representativos a lo largo del cauce. El estudio analizó parámetros fisicoquímicos y contrastándolos con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua establecidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM. Los resultados evidenciaron que, durante el primer periodo, los tres puntos evaluados presentaron concentraciones elevadas de DBO y DQO, superando los valores normativos, mientras que en el segundo periodo los puntos 1 y 2 mantuvieron excedencias en oxígeno disuelto y el punto 3 continuó registrando valores altos de DBO y DQO. El índice ICARUS arrojó calificaciones superiores a 88 en los puntos 1 y 2, clasificándolos como de calidad “buena”; sin embargo, el punto 3 obtuvo valores de 72,14 y 65,79, correspondientes a una calidad “regular”, lo que evidencia un deterioro persistente en el sector más impactado del río.

**Callasaca (2022)**, evaluó la variación de la calidad del agua del río Coata en el tramo comprendido entre el puente Maravillas y el puente Coata, considerando la influencia de fuentes contaminantes presentes en la zona. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y diseño no experimental, estableciéndose tres puntos de muestreo y dos fuentes contaminantes identificadas a lo largo del tramo evaluado. Para el análisis se consideraron 18 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos empleados en el cálculo del Índice de Calidad del Agua Peruano (ICA-PE), aplicando métodos normalizados de la AWWA y APHA. Los resultados evidenciaron una contaminación predominante por materia orgánica, siendo la fuente FC-02 la de mayor impacto debido a la descarga directa de efluentes al cauce, lo que determinó una clasificación general de la

calidad del agua como “regular”. Asimismo, se observó una mejora del índice de calidad durante los periodos de precipitación, atribuida al efecto de dilución del caudal.

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el estado de la calidad ambiental del agua superficial del río Coata y la laguna Escuri en la jurisdicción del distrito de San Miguel durante la época de estiaje, mediante la comparación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N.º 004-2017-MINAM), correspondientes a las categorías 1, 3 y 4.

#### **1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Determinar las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados en el río Coata y la laguna Escuri en la jurisdicción del distrito de San Miguel, durante la época de estiaje, conforme al Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.
- Comparar los resultados obtenidos en época de estiaje con los correspondientes a época media y época alta de precipitaciones, a fin de identificar diferencias estacionales en la calidad ambiental del agua, en la Jurisdicción del Distrito de San Miguel, 2025.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. AGUA

El agua es un recurso natural renovable indispensable para la vida y el funcionamiento de los ecosistemas; sin embargo, su disponibilidad espacial y temporal es variable. El uso inadecuado, la falta de conservación y las presiones antrópicas han deteriorado progresivamente su calidad y cantidad, comprometiendo su sostenibilidad ambiental (Gleick,2021).

##### 2.1.2. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua se refiere a la condición de las características químicas, físicas y biológicas de un cuerpo de agua, las cuales determinan su aptitud para usos específicos y pueden verse afectadas por la intervención antrópica, como vertimientos sin tratamiento adecuado y actividades productivas intensivas (Chapman, 1996).

##### 2.1.3. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

Son variables técnicas que permiten describir y evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas de un cuerpo hídrico. Su análisis integrado facilita la identificación de posibles fuentes de contaminación, la estimación del impacto de las actividades antrópicas y la determinación del grado de alteración del ecosistema acuático y su medición sistemática de estos parámetros constituye un componente fundamental

del monitoreo ambiental, ya que proporciona información objetiva para la gestión y protección sostenible de los recursos hídricos. (Autoridad Nacional del Agua, 2016)

### **A. Parámetros Físicos del Agua**

- **Temperatura (°C):** La temperatura del agua es un parámetro físico fundamental en la evaluación de la calidad del recurso, debido a su influencia directa en los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en los ecosistemas acuáticos. Variaciones térmicas pueden afectar la solubilidad del oxígeno disuelto, modificar las tasas metabólicas de los organismos y alterar la dinámica ecológica del cuerpo de agua. Asimismo, este parámetro está estrechamente relacionado con factores climáticos y características geomorfológicas del entorno, los cuales condicionan su comportamiento y la distribución de las comunidades acuáticas (Autoridad Nacional del Agua, 2016)

### **B. Parámetros Químicos del Agua**

- **Potencial de Hidrógeno (pH):** El pH expresa el grado de acidez o alcalinidad del agua y constituye un parámetro fisicoquímico esencial en la evaluación de su calidad. Su variación puede influir en la estabilidad química del medio acuático y en la aptitud del recurso para consumo humano. Estudios realizados en comunidades altoandinas del Perú han reportado que el pH es uno de los indicadores básicos para determinar el cumplimiento de los estándares de calidad del agua, debido a su relación con la solubilidad de compuestos y la seguridad sanitaria del recurso (Gonzales Saenz et al., 2023).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** La Demanda Química de Oxígeno es un indicador que cuantifica la cantidad total de sustancias susceptibles de oxidación química presentes en el agua, tanto de naturaleza orgánica como inorgánica. Este parámetro se determina mediante la acción de un agente oxidante fuerte en medio ácido y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O<sub>2</sub>/L). La DQO permite estimar la carga contaminante del cuerpo hídrico, ya que valores elevados evidencian mayor presencia de

compuestos oxidables y, por tanto, una posible alteración del equilibrio ecológico del sistema acuático (Ramírez et al., 2017).

- **Oxígeno Disuelto (OD):** La cantidad de oxígeno gaseoso que se encuentra en el agua, conocido como oxígeno disuelto, es vital para la supervivencia y el metabolismo de las especies acuáticas. Las concentraciones bajas de OD generalmente señalan un incremento de materia orgánica u otras fuentes contaminantes que emplean oxígeno en los procesos de degradación a través de microorganismos. Por lo tanto, es esencial la medición in situ de este parámetro para determinar la capacidad del cuerpo hídrico para mantener vida acuática y encontrar cambios en el medio ambiente. (Chávez Araujo et al, 2022).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** La DBO mide el oxígeno requerido por los microorganismos aerobios para degradar la materia orgánica biodegradable presente en el agua, constituyendo un indicador esencial de contaminación orgánica. Valores elevados señalan aportes significativos de residuos orgánicos, lo que puede reducir el oxígeno disponible y afectar la vida acuática. Este parámetro permite evaluar el impacto de descargas residuales y la capacidad de autodepuración natural de ríos y lagunas (Metcalf & Eddy, 2014)

- **Nitrito ( $\text{NO}_2$  ), Nitrato ( $\text{NO}_3$  ) y Nitrógeno Amoniacal ( $\text{NH}_4 + -\text{N}$ ):** Las formas nitrogenadas en el agua constituyen indicadores clave de contaminación orgánica y de procesos recientes de degradación biológica. El nitrógeno amoniacal se asocia principalmente con descargas de aguas residuales domésticas, estiércol y materia orgánica en descomposición; el nitrito representa una fase intermedia inestable de la nitrificación; y el nitrato, la forma más oxidada y persistente del nitrógeno, suele relacionarse con escorrentía agrícola y el uso intensivo de fertilizantes. Las elevadas concentraciones de estos compuestos deterioran la calidad del agua, representan riesgos

para la salud humana y favorecen la eutrofización de ecosistemas acuáticos (Quispe, 2024).

### C. Metales pesados

Los metales pesados son elementos químicos de alta densidad y gran persistencia en el ambiente, lo que les confiere un notable potencial tóxico incluso en bajas concentraciones. En los ecosistemas acuáticos representan un riesgo significativo por su capacidad de **bioacumulación y biomagnificación**, afectando tanto a la fauna como a la salud humana. Entre los metales más monitoreados se incluyen arsénico, mercurio, plomo, cromo, níquel y cobre, generalmente asociados a actividades mineras, industriales y procesos geológicos naturales. Su presencia constituye una preocupación central en la gestión y protección de la calidad del agua (Organización Mundial de la Salud, 2017).

- **Arsénico:** (As, número atómico 33, peso atómico 74,922), El arsénico es un contaminante prioritario en estudios de calidad del agua por su alta toxicidad y su capacidad de afectar la salud humana incluso a bajas concentraciones. Su presencia en ambientes acuáticos se relaciona tanto con procesos geológicos naturales como con actividades humanas, lo que facilita su transferencia a aguas superficiales y subterráneas. La exposición prolongada a agua contaminada con arsénico se asocia con problemas dermatológicos, trastornos cardiovasculares y mayor riesgo de cáncer, por lo que su monitoreo es esencial para la gestión y protección de los recursos hídricos, especialmente en zonas vulnerables (Smedley & Kinniburgh, 2002).

- **Mercurio:** El mercurio es un metal de alta toxicidad, persistente en el ambiente y con capacidad de bioacumulación en los ecosistemas acuáticos. En el agua puede transformarse en metilmercurio, altamente tóxico y fácilmente incorporado a la cadena trófica, afectando primero a organismos acuáticos y luego a las personas que consumen estos recursos. Su presencia se asocia tanto a actividades humanas, como minería y descargas industriales, como a liberación natural desde formaciones geológicas. La

exposición prolongada puede causar daños neurológicos, afectaciones en el desarrollo y problemas renales, lo que hace necesario su monitoreo constante dentro de los programas de control de calidad del agua (Brito, 2022)

#### **2.1.4. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**

La contaminación ambiental se entiende como la alteración adversa del entorno natural ocasionada por la incorporación de sustancias, organismos o formas de energía que modifican las características físicas, químicas y biológicas de los componentes ambientales. En los sistemas hídricos, este proceso reduce la calidad del agua, limita su capacidad para sostener vida acuática y compromete su uso para consumo humano y actividades productivas. Su origen se asocia principalmente a actividades antrópicas como la industria, la minería, la agricultura intensiva y la inadecuada gestión de residuos, las cuales introducen contaminantes de forma continua y acumulativa en los recursos naturales (Ministerio del Ambiente, 2017)

#### **2.1.5. CONTAMINACIÓN HÍDRICA**

La contaminación hídrica ocurre cuando agentes físicos, químicos o biológicos ingresan al agua en concentraciones que modifican sus características naturales y disminuyen su calidad, afectando tanto el equilibrio de los ecosistemas acuáticos como su uso para consumo, riego o actividades productivas. Generalmente se origina por acciones antrópicas como descargas de aguas residuales, esorrentía agrícola y vertimientos industriales, que incorporan materia orgánica, nutrientes y sustancias tóxicas al sistema hídrico. En contextos latinoamericanos, se ha evidenciado que este deterioro no solo genera impactos ambientales, sino también consecuencias sociales, particularmente en comunidades que dependen directamente del recurso para su subsistencia (Rivera Gironas et al., 2024)

## **2.1.6. CONTAMINACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO COATA**

La contaminación de la cuenca del río Coata es consecuencia de un proceso acumulativo, donde confluyen el rápido crecimiento poblacional, la expansión urbana desordenada y la limitada infraestructura de saneamiento. El principal problema se centra en el vertimiento constante de aguas residuales domésticas sin tratamiento, que introduce materia orgánica, nutrientes y patógenos, alterando el equilibrio físico, químico y biológico del sistema fluvial. Esta presión antrópica degrada la calidad del agua superficial y subterránea, aumentando los riesgos sanitarios para las poblaciones ribereñas. La situación se agrava en el Perú por la desigualdad en el acceso a servicios básicos, evidenciando brechas significativas entre regiones. Informes de la Autoridad Nacional del Agua indican que millones de personas carecen de agua potable segura y que diversos ríos, incluyendo los de la región Puno, presentan contaminación vinculada a descargas municipales sin tratamiento. En este contexto, la cuenca del río Coata se configura como un sistema altamente vulnerable, donde el río refleja las deficiencias en la gestión del agua, resaltando la necesidad de un enfoque integral de control, monitoreo continuo y gestión ambiental orientada a la recuperación y protección del recurso hídrico.

### **2.1.6.1 EL RIO TOROCOCHA**

El Río Torococha es un pequeño flujo natural que se origina en la parte alta de la microcuenca Chullunquiani, en la zona noroeste de Juliaca. Su longitud es de aproximadamente 18 kilómetros y, a lo largo de su trayecto, pasa por debajo de la ciudad de Juliaca en un tramo de cerca de 3 kilómetros que está cubierto, llegando hasta el puente en la avenida Circunvalación, donde fluye a cielo abierto hasta unirse al río Coata. Desde hace muchos años, los habitantes cercanos al cauce en Juliaca utilizan este río como un receptor de aguas residuales domésticas, que son vertidas mediante conexiones ilegales, así como de desechos sólidos y de vertimientos de aguas residuales no debidamente tratadas que provienen de las lagunas de oxidación de Juliaca. Con el

tiempo, estos desechos han generado un cuerpo de agua altamente contaminado que amenaza la salud de la población nearby, además de ser la principal fuente de contaminación del río Coata, especialmente por la cantidad de nitrógeno y fósforo que aporta, junto con otros contaminantes que son arrastrados hacia el lago Titicaca.

La Administración Local del Agua de Juliaca determinó en junio de 2015 que el caudal medio del río Torococha fue de 482 L/s, equivalente a 15,2 Hm<sup>3</sup> /año, volumen desde aguas abajo del puente Circunvalación hasta la confluencia con el río Coata pasa por un área de aproximadamente 35 000 m<sup>2</sup> de densos totorales (*Scheonoplectus tatora*) que cumplen el papel de “filtro biológico” y contribuyen así en parte con el tratamiento de las aguas residuales que transporta el río Torococha; sin embargo, no remueven nutrientes (nitrógeno y fósforo), de modo que generan la eutrofización de las aguas del río Coata, principalmente en el periodo de estiaje, afectando a las diversas poblaciones de Huata, Coata y las comunidades campesinas que utilizan las aguas del río como fuente de agua para consumo humano y de los animales (Ocola & Laqui, 2017).

#### **2.1.6.2. FUENTES CONTAMINANTES DEL RÍO COATA**

Las principales fuentes contaminantes del río Coata se identifican a partir del inventario elaborado por la ALA Juliaca en abril de 2015, el cual evidencia una presión significativa de origen antrópico sobre la cuenca. Dicho diagnóstico registró vertimientos industriales, municipales y provenientes de pasivos ambientales mineros, siendo estos últimos particularmente sensibles por su potencial carga de metales y compuestos persistentes. No obstante, desde una perspectiva de monitoreo hídrico, el mayor aporte contaminante corresponde a las aguas residuales municipales, con un caudal ampliamente superior al de las demás fuentes. Destaca especialmente el efluente de las lagunas de oxidación de la ciudad de Juliaca, que concentra la mayor proporción del caudal descargado al sistema fluvial. Estas lagunas, diseñadas originalmente para un caudal mucho menor al actual, operan desde hace décadas en condiciones de sobrecarga hidráulica y orgánica, lo que

ha reducido de manera crítica su eficiencia de tratamiento, particularmente en la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>). Como resultado, el río Coata recibe descargas insuficientemente tratadas que alteran su calidad ambiental y limitan su capacidad de autodepuración, consolidándose esta infraestructura como la principal fuente puntual de contaminación de la cuenca (Ocola & Laqui, 2017).

### **2.1.6.3. CARGA CONTAMINANTE DEL RÍO COATA**

En la cuenca del río Coata se han identificado ocho descargas de aguas residuales municipales, con un caudal total aproximado de 290 litros por segundo, de los cuales el 88 % proviene de las lagunas de oxidación. Además, se contabilizan veintidós sitios de disposición de residuos sólidos distribuidos a lo largo de la cuenca, ubicados en áreas cercanas a los puentes Maravillas, Independencia, Unocolla y Cacachi (Ocola & Laqui 2017)

La bahía interior del lago Titicaca refleja un problema histórico de más de cuatro décadas, derivado de descargas de aguas residuales municipales deficientemente tratadas y de la presión constante de actividades humanas como minería, agricultura, ganadería, pesca artesanal, turismo, acuicultura y transporte lacustre. Estas actividades son las principales fuentes de contaminación por metales pesados, los cuales son transportados hacia los cuerpos de agua a través de drenajes pluviales y sedimentos arrastrados durante la temporada de lluvias.

### **2.1.7. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE ACUERDO A LAS NORMAS**

En el Perú, la evaluación de la calidad del agua se realiza conforme a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, aprobados mediante el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Esta normativa establece los límites máximos permitidos para parámetros físicos, químicos y microbiológicos, diferenciados según el uso previsto del recurso hídrico —incluido el consumo humano, la agricultura, las actividades recreativas y

la conservación de los ecosistemas acuáticos— con el propósito de proteger tanto la salud pública como el ambiente (Ministerio del Ambiente, 2017)

En el área de estudio que abarca el río Coata y Laguna Escuri en el distrito de San Miguel, la implementación de esta norma es crucial para evaluar la idoneidad del agua destinada al consumo y a la población, tomando en cuenta las características geográficas y socio ambientales del lugar. La comparación de los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos con los estándares de referencia apuntados por los ECA facilita la identificación del nivel de contaminación y, de esta manera, guía las adecuadas medidas de control, tratamiento o restauración de las fuentes de agua (Lambert, 2022).

Desde una perspectiva de gestión integrada, informes técnicos sobre la gobernanza del agua en el Perú han señalado que los desafíos para cumplir con los estándares ambientales están asociados a brechas en la cobertura de saneamiento, deficiencias en los sistemas de monitoreo y limitaciones institucionales para garantizar el cumplimiento de las normativas de calidad (OECD, 2021). En este sentido, el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM no sólo establece criterios técnicos para el análisis del recurso hídrico, sino que también proporciona un marco legal indispensable para la gestión ambiental y la protección de las comunidades que dependen de estas fuentes de agua para su desarrollo sostenible.

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

a) **Agua:** Recurso natural indispensable para la vida y el funcionamiento de los ecosistemas, ya que participa en los procesos físicos, químicos y biológicos que sostienen a los seres vivos. Su calidad y disponibilidad influyen directamente en la salud humana, la producción de alimentos y el equilibrio ambiental, por lo que su gestión sostenible es fundamental frente a la creciente presión antrópica (Marinero Orantes et al., 2015).

- b) **Aguas Superficiales:** Son los cuerpos de agua que se encuentran sobre la superficie terrestre, como ríos, lagos y lagunas, cuya calidad está determinada por los procesos hidrológicos naturales de la cuenca y por la influencia de las actividades humanas que se desarrollan en su entorno (Chapman, 1996)
- c) **Agua para consumo humano:** Agua destinada a la ingesta y a los usos domésticos de la población, cuya calidad debe cumplir parámetros físicos, químicos y microbiológicos que aseguren su inocuidad y protección de la salud pública (Organización Mundial de la Salud, 2017)
- d) **Calidad De Agua:** Es el grado en que el agua conserva características físicas, químicas y biológicas adecuadas para un uso específico, ya sea consumo humano, protección de la vida acuática o actividades productivas, en función de estándares previamente establecidos (American Public Health Association et al, 2022).
- e) **Contaminante:** Es toda sustancia, elemento o forma de energía que, al incorporarse al agua, altera su composición natural y puede generar efectos adversos sobre la salud humana, los ecosistemas acuáticos o los usos previstos del recurso hídrico (Organización Mundial de la Salud, 2022)
- f) **Contaminantes antropogénicos:** Son sustancias físicas, químicas o biológicas que se incorporan al agua como resultado directo de actividades humanas, tales como descargas industriales, escorrentía agrícola, vertimientos domésticos y actividades mineras. Estos contaminantes modifican las características naturales del recurso hídrico y pueden generar impactos negativos en la salud pública, en la vida acuática y en los usos productivos del agua (Metcalf & Eddy, 2014)
- g) **Coliformes fecales / termotolerantes y Escherichia coli:** Son microorganismos empleados como indicadores microbiológicos de contaminación de origen fecal en el agua. Su detección permite inferir la posible presencia de patógenos entéricos capaces de generar enfermedades de transmisión hídrica. Debido a su relevancia sanitaria, la

normativa establece que el agua destinada al consumo humano debe presentar ausencia total de *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes en una muestra de 100 mL, como condición mínima de inocuidad (Organización Mundial de la Salud, 2022).

h) **Coliformes totales:** Constituyen un grupo de bacterias indicadoras que permiten evaluar la calidad microbiológica del agua y el grado de protección de la fuente. Su detección no implica necesariamente contaminación fecal directa, pero sí revela deficiencias en el tratamiento, almacenamiento o distribución del agua, así como una posible vulnerabilidad frente a la contaminación ambiental (Autoridad Nacional del Agua, 2020).

i) **Dureza:** Es una característica fisicoquímica del agua asociada principalmente a la concentración de sales de calcio y magnesio disueltas. La dureza influye en el sabor del agua, en la formación de incrustaciones en tuberías, equipos, y en su aptitud para el uso doméstico e industrial; valores elevados pueden generar dificultades operativas y reducir la eficiencia de los sistemas de abastecimiento (*Ministerio de Salud. 2011*).

j) **ECA:** Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecen los niveles máximos de concentración de sustancias, elementos o agentes físicos presentes en el ambiente, por debajo de los cuales no se generan riesgos significativos para la salud humana ni para los ecosistemas. En el Perú, los ECA constituyen instrumentos normativos de gestión ambiental y se clasifican en cinco categorías: agua, aire, suelo, ruido y radiaciones no ionizantes, siendo de aplicación obligatoria para la evaluación y control de la calidad ambiental en el territorio nacional (Ministerio del Ambiente, 2017).

k) **Estacionalidad hidrológica:** Se refiere al comportamiento cíclico anual del sistema hídrico, caracterizado por cambios regulares en la cantidad y disponibilidad del agua como resultado de la variación temporal de factores climáticos, especialmente la precipitación y la evapotranspiración. Dicho comportamiento se manifiesta en fluctuaciones del caudal de los ríos, niveles de cuerpos de agua y recarga hídrica,

diferenciando períodos húmedos y secos que condicionan los procesos físicos, ambientales y el uso del recurso hídrico en una cuenca (Applied Hydrology, Chow et al., 1988)

l) **Metales pesados (As, Pb, Cd, Hg, etc.):** Son elementos químicos de alta densidad y elevada toxicidad, que pueden incorporarse a los cuerpos de agua tanto por procesos naturales (meteorización geológica) como por actividades antrópicas, especialmente la minería y las descargas industriales. Debido a su persistencia, bioacumulación y biomagnificación, incluso concentraciones muy bajas representan riesgos significativos para la salud humana y los ecosistemas, razón por la cual los organismos internacionales establecen límites máximos permisibles estrictos para su presencia en el agua destinada al consumo humano (Organización Mundial de la Salud, 2022)

m) **Muestreo:** Es la actividad de observar, monitorear y verificar parámetros químicos, físicos y microbiológicos de acuerdo con la normativa (Dirección General de Salud Ambiental, 2010)

n) **Nitritos y nitratos:** Son compuestos nitrogenados presentes en el agua, generalmente asociados al uso de fertilizantes agrícolas, residuos pecuarios y descargas de aguas residuales. Su concentración elevada es un indicador de contaminación antrópica y representa un riesgo para la salud, especialmente en poblaciones vulnerables, ya que los nitratos pueden transformarse en nitritos en el organismo y afectar el transporte de oxígeno en la sangre (Organización Mundial de la Salud, 2017)

o) **Norma Nacional Ambiental de Calidad del Agua (ECA-Agua):** Es el conjunto de valores referenciales establecidos por el Estado peruano que definen las concentraciones máximas permitidas de parámetros físicos, químicos y biológicos en los cuerpos de agua superficiales, con el fin de proteger la salud humana, preservar los ecosistemas acuáticos y prevenir la degradación ambiental. Estos estándares varían

según el uso del recurso hídrico (consumo humano, riego, recreación o conservación de la vida acuática) y constituyen una herramienta técnica fundamental para la evaluación, control y gestión ambiental del agua en el país (Ministerio del Ambiente, 2017)

p) **Parámetros físicos:** Son características perceptibles del agua que permiten una evaluación inicial de su calidad ambiental, entre las que destacan la temperatura, el color, el olor, el sabor y la turbidez. Estos parámetros influyen de manera directa en los procesos químicos y biológicos que ocurren en los cuerpos de agua y condicionan su idoneidad para diversos usos, por lo que constituyen indicadores básicos en el monitoreo y la gestión de los recursos hídricos (American Public Health Association et al, 2022).

q) **Parámetros químicos:** Comprenden las características del agua asociadas a su composición química, tales como el pH, la alcalinidad, la dureza, el oxígeno disuelto, los compuestos nitrogenados (nitratos, nitritos y amonio) y la presencia de metales. Estos parámetros permiten identificar procesos de contaminación, transformaciones químicas internas y riesgos potenciales para los ecosistemas acuáticos y a la salud de las personas, constituyéndose en elementos clave para la valoración a fondo de la calidad del agua (American Public Health Association et al, 2022).

### **2.3. MARCO NORMATIVO**

El análisis de la calidad del agua del río Coata y la laguna Escuri se sustenta en el marco normativo ambiental y de gestión de los recursos hídricos vigente en el Perú, el cual establece los principios, criterios técnicos y responsabilidades institucionales para la protección del ambiente y la salud de la población. En primer lugar, la Constitución Política del Perú reconoce el derecho de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida, constituyendo la base legal para la regulación ambiental.

Asimismo, la Ley N.º 28611, Ley General del Ambiente, establece los lineamientos fundamentales para la gestión ambiental, la prevención de la contaminación y el uso

sostenible de los recursos naturales. De manera complementaria, la Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos, y su reglamento aprobado mediante Decreto Supremo N.º 001-2010-AG, regulan la gestión integrada del recurso hídrico, definiendo competencias, usos permitidos y mecanismos de control sobre las fuentes de agua superficial y subterránea.

En el ámbito específico de la evaluación de la calidad del agua, el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, los cuales determinan los límites máximos permisibles de parámetros físicos, químicos y biológicos según el uso del recurso. Estas disposiciones se articulan con normas complementarias como el Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM y el Decreto Supremo N.º 023-2009-MINAM, que regulan la implementación y aplicación de los ECA.

Finalmente, el marco técnico-operativo se refuerza con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado por Resolución Jefatural N.º 182-2011-ANA, así como con la Resolución Jefatural N.º 202-2010-ANA, que clasifica los cuerpos de agua superficiales y marino-costeros, proporcionando criterios técnicos esenciales para la evaluación, interpretación y gestión de la calidad del agua en el área de estudio.

## **2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

- El estado de la calidad ambiental del agua del río Coata y la laguna Escuri durante la época de estiaje no cumple con los valores establecidos en las categorías 1, 3 y 4 del Estándar de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N.º 004-2017-MINAM).

### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- Los parámetros evaluados en el río Coata y la laguna Escuri, durante la época de estiaje en el distrito de San Miguel, excede los valores establecidos en las categorías 1, 3 y 4 del Estándar de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N.º 004-2017-MINAM)

- Se presentan variaciones en el estado ambiental del agua del río Coata y la laguna Escuri al comparar los resultados obtenidos durante la época de estiaje con las épocas media y alta de precipitaciones

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

La investigación se llevó a cabo en la cuenca baja del río Coata, ubicada completamente dentro de la región de Puno. Esta cuenca abarca parte de las provincias de San Román y Lampa, así como secciones de las provincias de Puno y Huancané, constituyendo un área estratégica para el análisis de la calidad ambiental de sus cuerpos de agua.

**a) Ubicación Geográfica Geográficamente, se ubica en las siguientes coordenadas:**

En términos geográficos, la zona se encuentra comprendida entre las siguientes coordenadas:

- **Latitud sur: 15°55'12"**
- **Longitud oeste: 71°12'00"**

La altitud varía entre 3,800 y 5,600 metros sobre el nivel del mar, lo que evidencia una marcada diversidad altitudinal que influye en las condiciones ambientales y en la dinámica de los ecosistemas acuáticos de la región.

**b) Ubicación UTM (WGS84)**

El área de estudio se localiza en el sistema de coordenadas UTM de la siguiente manera:

- Norte: 8,328,509 – 8,239,696
- Este: 381362.28 – 392528,45
- Variación altitudinal: 3,800 – 5,300 m.s.n.m.

Estos datos permiten un posicionamiento preciso de los puntos de muestreo, facilitando la replicabilidad de los análisis y la planificación de futuras investigaciones en la cuenca.

### c) Límites Hidrográficos :

La cuenca baja del río Coata se encuentra delimitada por diferentes cuencas vecinas y cuerpos de agua significativos:

- **Norte:** Cuenca del río Ramis
- **Sur:** Cuencas de Illpa y Alto Tambo
- **Este:** Lago Titicaca
- **Oeste:** Cuencas del río Chili y Colca Siguan

Estos límites definen no sólo la extensión de la zona de estudio, sino también la influencia hidrológica que reciben los cuerpos de agua de la cuenca, factores determinantes en la evaluación de la calidad ambiental del río Coata y la laguna Escuri.

#### 3.1.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende dos puntos de monitoreo en el río Coata y uno en la laguna Escuri, ubicados en la jurisdicción del distrito de San Miguel, provincia de San Román, departamento de Puno. La cuenca del río Coata integra territorios de las provincias de Lampa, Huancané y Puno, constituyéndose en uno de los principales aportantes a la cuenca endorreica del lago Titicaca. Hidrológicamente, el río Coata se forma a partir de los ríos Lampa y Cabanillas, junto con sus afluentes secundarios. Los puntos de monitoreo seleccionados corresponden al puente Maravillas, puente Independencia y la laguna Escuri, por su representatividad ambiental. (Figura 1).



**Figura 01:** Ubicación de los puntos de monitoreo en el Río Coata y Laguna Escuri época de estiaje, 2025. en punto de monitoreo Puente Maravillas, Laguna Escuri y Puente Independencia.

### 3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

#### • Población

La población de estudio estuvo conformada por las aguas superficiales del río Coata y la laguna Escuri, ubicadas en la jurisdicción del distrito de San Miguel, provincia de San Román, región Puno. Estos cuerpos de agua integran la cuenca del río Coata y cumplen funciones relevantes desde el punto de vista ambiental y socioeconómico. No obstante, se encuentran sometidos a diversas presiones antrópicas, como descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía urbana y actividades agropecuarias, que inciden directamente en su calidad. En este contexto, el río Coata y la laguna Escuri constituyen unidades representativas para evaluar el estado de la calidad del agua, particularmente durante la época de estiaje, periodo en el que la reducción del caudal favorece la concentración de contaminantes. Desde el punto de vista estadístico, la población se considera de carácter continuo

### • Muestra

La muestra se definió mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, dado que los puntos de monitoreo no fueron seleccionados al azar, sino establecidos deliberadamente con base en criterios técnicos y ambientales. La selección consideró aspectos como la representatividad espacial del sistema hídrico, la accesibilidad a los puntos de muestreo, la incidencia de actividades antrópicas y la posible influencia de fuentes de contaminación sobre el río Coata y la laguna Escuri.

Este enfoque resulta pertinente en estudios de calidad ambiental del agua, ya que permite focalizar el análisis en sectores estratégicos donde es más probable evidenciar alteraciones en el recurso hídrico, sin pretender realizar inferencias estadísticas a toda la población. En ese marco, se establecieron tres puntos de monitoreo, ubicados en el puente Independencia, el puente Maravillas y la laguna Escuri, los cuales reflejan condiciones ambientales contrastantes dentro del área de estudio.

**Tabla 01:** Ubicación y coordenadas de las estaciones de muestreo.

<b>Código de muestra</b>	<b>Ubicación / Descripción</b>	<b>Coordenadas UTM (Zona 19S)</b>		<b>Altitud (m s. n. m.)</b>	<b>Tipo de muestra</b>
AS 01	Puente Independencia	E:381362.28	N:828987	3824	Agua Superficial de Río
AS 02	Puente Rio Maravillas	E:377306.70	N:8292866.1 9	3827	Agua Superficial de Río
AS 03	Laguna Escuri	E:377950.57	N:8291258.9 3	3821	Agua Superficial de laguna

### 3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

#### 3.3.1. METODOLOGÍA

- **Enfoque metodológico de la investigación:** La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, ya que se basó en la obtención de información medible y verificable a partir del monitoreo de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua. Las variables analizadas fueron expresadas en valores numéricos, lo que permitió caracterizar objetivamente la calidad ambiental del recurso hídrico y contrastar los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA) establecidos en el Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM.

Asimismo, este enfoque permitió organizar y analizar los datos mediante procedimientos estadísticos básicos, así como presentar los resultados a través de tablas y representaciones gráficas. Estas herramientas facilitan una interpretación técnica del estado de la calidad del agua del río Coata y la laguna Escuri, particularmente durante la época de estiaje, así como la comparación de su comportamiento frente a la variabilidad estacional.

- **Tipo de investigación:** La presente investigación corresponde a un estudio de tipo descriptivo y comparativo. Es descriptiva porque se orienta a identificar y caracterizar las condiciones actuales de la calidad ambiental del agua del río Coata y la laguna Escuri, a partir de la medición de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de metales pesados. Esta caracterización permite establecer un diagnóstico del estado del recurso hídrico en el área de estudio.

Asimismo, el estudio es comparativo, en tanto los resultados obtenidos son contrastados con los valores de referencia establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, y analizados entre los distintos puntos de monitoreo y periodos hidrológicos evaluados. Este enfoque posibilita reconocer variaciones espaciales y temporales en la calidad del agua, así como identificar patrones asociados a la estacionalidad climática y a la influencia de actividades antrópicas presentes en la cuenca.

- **Diseño de investigación:** La investigación presenta un diseño no experimental, ya que las variables no fueron manipuladas y los parámetros de calidad del agua se registraron en su estado natural. Asimismo, es de tipo longitudinal, debido a que el monitoreo se realizó en distintos periodos hidrológicos (época alta, media y de estiaje), lo que permitió analizar la variación temporal de la calidad del agua.

- **Método de investigación:** Se aplicó el método descriptivo y comparativo, orientado a caracterizar la calidad ambiental del agua y contrastar los resultados obtenidos tanto con

los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua como entre las distintas épocas climáticas evaluadas.

- **Técnica de investigación:** Se empleó la observación sistemática, apoyada por el análisis documental de informes técnicos, resultados de laboratorio y normativa ambiental vigente relacionada con la calidad del agua.

- **Instrumento:** Como instrumento se utilizó una ficha de monitoreo de calidad del agua, diseñada conforme al Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial y a los Estándares de Calidad Ambiental para agua establecidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM.

Este instrumento permitió el registro sistemático y coherente de los parámetros evaluados, garantizando la consistencia y confiabilidad de los datos obtenidos.

### **3.3.2 .RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA**

La recolección de muestras se efectuó mediante campañas de monitoreo en campo, aplicando procedimientos técnicos estandarizados para la toma, preservación y traslado de las muestras de agua. Los análisis se realizaron en un laboratorio acreditado, lo que aseguró la confiabilidad y precisión de los resultados obtenidos. Posteriormente, la información fue organizada, procesada y contrastada con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua vigentes.

El monitoreo de la calidad del agua del río Coata y la laguna Escuri se desarrolló en tres etapas:

#### **a) Etapa de gabinete**

Comprendió la recopilación y revisión de información técnica vinculada a la contaminación hídrica, el análisis geográfico e hidrográfico del área de estudio, la definición de los puntos de monitoreo y el establecimiento de los criterios para la recolección de datos.

#### **b) Etapa de campo**

Incluyó el reconocimiento de los puntos seleccionados, la medición in situ de parámetros con equipos portátiles, el registro de coordenadas geográficas, el rotulado de envases, la toma y preservación de las muestras, el llenado de la cadena de custodia y el traslado de las muestras al laboratorio acreditado para su análisis. (Laboratorios Analytical Laboratory ALAB)

➤ **c) Etapa post campo**

Consistió en el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, considerando la clasificación de los cuerpos de agua y las categorías establecidas en las categorías 1, 3 y 4 del Estándar de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N.º 004-2017-MINAM). Se evaluaron parámetros físicos, químicos y biológicos, tales como:

- |                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| ➤ <b>Aceites y grasas</b> | ➤ <b>Nitratos</b>           |
| ➤ <b>DBO-5</b>            | ➤ <b>Nitritos</b>           |
| ➤ <b>DQO</b>              | ➤ <b>Coliformes totales</b> |
| ➤ <b>Oxígeno disuelto</b> | ➤ <b>Mercurio</b>           |
| ➤ <b>Sulfatos</b>         | ➤ <b>Arsénico</b>           |
| ➤ <b>Cianuro total</b>    | ➤ <b>Dureza</b>             |
| ➤ <b>Amonio</b>           |                             |

**3.3.2.1. PARÁMETROS A EVALUAR**

Las muestras de agua se recolectaron en frascos de plástico o de vidrio, según el tipo de parámetro a evaluar, considerando además el volumen requerido de acuerdo con el método analítico aplicado por el laboratorio acreditado Analytical Laboratory ALAB.

Durante el muestreo en el río Coata y la laguna Escuri, en época de estiaje y dentro de la jurisdicción del distrito de San Miguel, se evitaron zonas con turbulencia intensa. Para ello, se tuvo en cuenta la profundidad, la velocidad del flujo y la ubicación adecuada respecto a ambas orillas, a fin de obtener muestras representativas del cuerpo de agua.

La toma de muestras se realizó en el eje central de la corriente, a una profundidad aproximada de 30 cm; con excepción de los parámetros de aceites y grasas, cuya recolección se efectuó en la superficie. Asimismo, el muestreo se llevó a cabo orientando el recipiente en sentido contrario al flujo del agua.

El procedimiento específico de recolección varió según el tipo de parámetro analizado, Así tenemos:

**a) Parámetros Microbiológicos**

Este parámetro exigió frascos de vidrio que ya se habían esterilizado, los cuales fueron transportados hasta la zona de muestreo en las condiciones higiénicas más óptimas. En el proceso de toma de muestras, se destapó el frasco por el tiempo mínimo necesario para prevenir que entrarán sustancias ajenas que pudieran modificar los resultados. También requieren dejar un espacio libre para la homogeneización de las muestras, aproximadamente una tercera parte del volumen del frasco, para evitar acelerar la mortandad de bacterias.

**b) Parámetros Físico Químicos - inorgánicos**

Estas muestras fueron tomadas en frascos de plástico directamente del cuerpo de agua. En nuestro caso no se enjuagaron los frascos porque ya venían esterilizados y con reactivos. La muestra de estos parámetros se recogió desde el interior del cuerpo acuático, a 30 cm de profundidad a partir de la superficie. Se consideró que las muestras se toman en contracorriente y poniendo el frasco en un ángulo adecuado para permitir la entrada de agua.. Estas muestras se llenaron al 100%.

**c) Parámetros orgánicos**

Para el análisis de aceites y grasas, la muestra de agua se recolectó de forma directa, sin realizar el enjuague previo del frasco. La toma se efectuó en la superficie del cuerpo de agua, evitando la inmersión total de la boca del recipiente. Este parámetro se almacenó

en frascos de vidrio ámbar de boca ancha, debidamente cerrados, con la finalidad de prevenir procesos de degradación inducidos por la luz.

En el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), las muestras se recolectaron en frascos plásticos de boca ancha con una capacidad de un litro. Posteriormente, fueron conservadas a una temperatura aproximada de 4 °C, a fin de mantener la estabilidad de las condiciones fisicoquímicas hasta su análisis en laboratorio..

#### **d) Métodos de Ensayo**

Los análisis de la calidad del agua se realizaron mediante métodos normalizados y acreditados, reconocidos para estudios ambientales. Los nutrientes nitrogenados (nitratos, nitritos y amonio) se determinaron mediante técnicas espectrofotométricas y colorimétricas validadas.

El pH y el oxígeno disuelto se midieron mediante métodos electrométricos, mientras que la carga orgánica fue evaluada a través de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), empleando procedimientos estandarizados. Los sólidos suspendidos totales, sulfatos, aceites y grasas se analizaron mediante métodos físico-químicos acreditados.

La evaluación microbiológica se efectuó mediante la técnica del Número Más Probable (NMP) para coliformes fecales, como indicador de contaminación de origen fecal. Todos los ensayos se desarrollaron conforme a los lineamientos del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, establecidos por APHA-AWWA-WEF, garantizando la confiabilidad de los resultados.

#### **e) Registro de información:**

La información obtenida en campo y laboratorio fue consignada en una ficha de registro diseñada para organizar los datos y garantizar el seguimiento de las muestras analizadas (ver Anexo 2).

### 3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 02:** Operacionalización de variables

VARIABLES	COMPONENTE	DIMENSIÓN	INDICADOR
VI	Régimen	1.	2. Disminución del
	Hidrológico –	Estacionalidad	volumen del agua
	(estacionalidad	Climática	3. Ausencia o baja
	climática)		intensidad de precipitaciones
VD	Calidad Ambiental del agua	2. Periodo	4. Época de estiaje
			5. Época media
		Hidrológico	6. Temperatura ambiental
			7. Época alta
		1.	8. Ph
		Parámetros	9. Oxígeno disuelto (OD)
		físico-químicos	10. Demanda bioquímica de oxígeno
		y metales pesados	11. Demanda química de oxígeno
			12. Nitratos
			13. Nitritos
	14. Amonio		
	15. Sulfatos		
	16. Dureza total		
	17. Aceites y grasas		
	18. Arsénico		

VARIABLES	COMPONENTE	DIMENSIÓN	INDICADOR
			19. Mercurio
		2. Parámetros microbiológicos	20. Coliformes totales
		3. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del agua	21. Cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental
			22. Incumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental

### 3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

El análisis estadístico del presente estudio se desarrolló bajo un enfoque descriptivo, debido a que la investigación corresponde a un diseño no experimental y de carácter observacional, en el cual no se manipularon variables, sino que se evaluaron las condiciones naturales del cuerpo de agua en distintos periodos hidrológicos.

Los datos obtenidos en los puntos de monitoreo del Río Coata y la Laguna Escuri fueron organizados y procesados mediante hojas de cálculo en Microsoft Excel, empleando estadística descriptiva básica para su análisis.

Dado que se realizó un muestreo puntual por cada estación en cada periodo hidrológico, el análisis se basó en la descripción directa de los valores obtenidos para cada parámetro físico-químico, microbiológico y de metales pesados, sin aplicar pruebas estadísticas inferenciales ni cálculo de medidas de tendencia central. Asimismo, se utilizaron tablas comparativas y representaciones gráficas para facilitar la interpretación de los resultados.

La interpretación de los resultados se realizó mediante contraste directo con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua establecidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM del Ministerio del Ambiente, considerando las categorías 1, 3 y 4 aplicables al ámbito de estudio. En este sentido, el criterio de decisión se basó en determinar si los valores obtenidos superan o no los límites máximos permisibles establecidos por la normativa vigente.

De esta manera, el análisis estadístico se orientó a describir el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de metales pesados, así como a identificar posibles excedencias respecto a la normativa ambiental, sin pretender establecer relaciones causales ni diferencias estadísticamente significativas entre periodos.

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

#### **4.1. EVALUAR EL ESTADO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA SUPERFICIAL DEL RÍO COATA Y LA LAGUNA ESCURI EN LA JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL DURANTE LA ÉPOCA DE ESTIAJE, EN FUNCIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y METALES PESADOS ESTABLECIDOS EN EL ESTÁNDAR DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA (D.S. N.º 004-2017-MINAM), CATEGORÍAS 1, 3 Y 4.**

Con base en la información obtenida en los tres puntos de monitoreo definidos el río Coata en el sector Puente Independencia, río Coata en el sector Puente Maravillas y la laguna Escuri, se efectuó una evaluación integral de la calidad ambiental del agua durante la época de estiaje del año 2025. Los resultados de los parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados fueron contrastados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, considerando las categorías de uso correspondientes: producción de agua potable (Categoría 1, subcategorías A2 y A3), riego de vegetales y bebida de animales (Categoría 3) y conservación del ambiente acuático (Categoría 4: ríos, lagos y lagunas).

**Tabla 03:** Parámetros fisicoquímicos y biológicos generales comparados con ECAs

<b>Parámetro</b>	<b>M1 – Puente Independencia</b>	<b>M2 – Puente Maravillas</b>	<b>M3 – Laguna Escuri</b>	<b>ECA Cat. 1 – A1</b>	<b>ECA Cat. 4</b>
<b>Coliformes totales (NMP/100 mL)</b>	790	22 000	13 000	50	—
<b>Nitratos NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	37.9	36.5	81.6	50	13
<b>Nitritos NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	<0.004	<0.004	0.011	3	—
<b>Oxígeno disuelto (mg/L)</b>	8.8	9.8	8.2	≥ 6	≥ 5
<b>Amonio NH<sub>3</sub>-N (mg/L)</b>	0.876	0.906	1.03	1.5	—
<b>Arsénico (mg/L)</b>	0.1168	0.1299	0.2031	0.01	0.15
<b>Mercurio (mg/L)</b>	0.07991	0.07747	0.07995	0.001	0.0001
<b>Cianuro total (mg/L)</b>	<0.005	<0.005	<0.005	0.07	0.0052
<b>Dureza total (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>	223	219	460.7	500	—
<b>Sulfatos (mg/L)</b>	84.3	84.9	128	250	—

Parámetro	M1 – Puente Independencia	M2 – Puente Maravillas	M3 – Laguna Escuri	ECA Cat. 1 – A1	ECA Cat. 4
Aceites y grasas (mg/L)	0.6	<0.32	<0.32	0.5	5
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	5	2	16.2	3	5
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	15.2	6.7	90.7	10	—

El análisis conjunto de los resultados evidenció que la calidad ambiental del agua presentó un **cumplimiento parcial de los ECA** en los tres puntos de monitoreo evaluados, observándose superaciones puntuales de los estándares en determinados parámetros, así como el cumplimiento de otros dentro de los límites permisibles. Esta situación permitió caracterizar el estado general del recurso hídrico en la jurisdicción del distrito de San Miguel durante el periodo de estiaje.

En el punto de monitoreo ubicado en el río Coata, sector Puente Independencia, se observó que la mitad de los parámetros analizados presentaron valores por encima de los Estándares de Calidad Ambiental. Entre los resultados más relevantes destaca la presencia de mercurio y arsénico, cuyos niveles excedieron los límites permitidos para aguas destinadas a la producción de agua potable, correspondientes a la Categoría 1 (subcategorías A2 y A3). De igual forma, se evidenciaron superaciones en los parámetros de grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO) y nitritos, siendo este último parámetro crítico únicamente para la categoría orientada a la conservación del ambiente acuático.

En contraste, otros indicadores como nitratos, oxígeno disuelto, amonio, cianuro total, dureza total y sulfatos se mantuvieron dentro de los rangos establecidos por la normativa vigente, lo que sugiere condiciones aceptables en términos de oxigenación y estabilidad química en este tramo del río.

En el punto correspondiente al río Coata en el sector Puente Maravillas, los resultados mostraron una tendencia comparable, con superaciones de los Estándares de Calidad Ambiental en parámetros vinculados principalmente a metales pesados, nutrientes y carga orgánica. Este comportamiento refleja un efecto acumulativo de las presiones antrópicas a lo largo del curso del río, especialmente en zonas influenciadas por asentamientos urbanos y actividades agropecuarias.

Por otro lado, en la laguna Escuri se identificaron variaciones en la calidad del agua asociadas a procesos de acumulación de contaminantes, propios de cuerpos de agua de dinámica lenta durante la época de estiaje. En este sector, algunos parámetros relacionados con nutrientes y materia orgánica superaron los valores permisibles, mientras que el resto se mantuvo dentro de los límites aceptados por los Estándares de Calidad Ambiental.

**Tabla 04:** Comparativa de parámetros de calidad del agua -Río Coata (puente independencia, puente río maravillas) y Laguna Escuri – época de estiaje, 2025

Parámetro	Rango observado	Interpretación técnica
<b>Aceites y grasas (mg/L)</b>	<0.32 – 0.60	Valores bajos en Puente Maravillas y Laguna Escuri; sin embargo, el Puente Independencia superó el ECA, evidenciando presencia puntual de residuos oleosos de origen antrópico.
<b>DBO-5 (mg O<sub>2</sub>/L)</b>	2.0 – 16.2	Carga orgánica ligera a moderada en el río; la Laguna Escuri presentó valores elevados, indicando alta contaminación orgánica biodegradable.
<b>DQO (mg O<sub>2</sub>/L)</b>	6.7 – 90.7	Valores bajos a moderados en el río Coata; concentración muy elevada en la Laguna Escuri, reflejando acumulación de materia orgánica y compuestos oxidables.
<b>Oxígeno disuelto (mg/L)</b>	8.2 – 9.8	Valores adecuados y superiores al ECA en todos los puntos, evidenciando buena oxigenación y ausencia de hipoxia durante el estiaje.
<b>Sulfatos (mg/L)</b>	84.3 – 128.0	Concentraciones moderadas y muy por debajo del ECA; no representan riesgo para la calidad del agua.
<b>Cianuro total (mg/L)</b>	<0.005	Valores inferiores al límite de detección, indicando ausencia de contaminación por cianuros.
<b>Amonio (mg/L)</b>	0.876 – 1.03	Concentraciones dentro del ECA; indican presencia de materia orgánica nitrogenada sin alcanzar niveles críticos.

<b>Parámetro</b>	<b>Rango observado</b>	<b>Interpretación técnica</b>
<b>Nitratos (mg/L)</b>	36.5 – 81.6	Valores elevados en la Laguna Escuri, superando el ECA; asociados a aportes agrícolas, pecuarios o acumulación por baja renovación hídrica.
<b>Nitritos (mg/L)</b>	<0.004 – 0.011	Valores muy bajos, dentro del ECA; no evidencian procesos activos de contaminación reciente.
<b>Coliformes totales (NMP/100 mL)</b>	790 – 22 000	Concentraciones muy elevadas en todos los puntos, superando el ECA para agua potable; indican contaminación microbiológica significativa por descargas domésticas o ganaderas.
<b>Mercurio (mg/L)</b>	0.077 – 0.080	Supera ampliamente los ECA en todos los puntos; representa alto riesgo ambiental y sanitario, posible origen geogénico y antrópico.
<b>Arsénico (mg/L)</b>	0.1168 – 0.2031	Valores elevados y superiores al ECA en todos los puntos; contaminación persistente que limita el uso del agua para consumo humano.
<b>Dureza total (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>	219 – 460.7	Agua moderadamente dura a dura; valores dentro del ECA, sin restricción ambiental significativa.

De manera general, los resultados obtenidos indican que la calidad del agua del río Coata y la laguna Escuri durante la época de estiaje 2025 estuvo afectada por la presencia de metales pesados, nutrientes y materia orgánica que superaron los Estándares de Calidad Ambiental en determinados usos del recurso hídrico. No obstante, parámetros como el oxígeno disuelto cumplieron con los valores normativos, evidenciando que el deterioro de

la calidad del agua fue variable según el punto de monitoreo y el tipo de parámetro evaluado

#### 4.1.1 PARÁMETROS QUE SUPERARON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL

- **Aceites y grasas <math><0.32 - 0.60</math>**: En algunos puntos de monitoreo se registraron valores superiores a los ECA, lo que evidencia la influencia de descargas de origen antrópico, principalmente asociadas a actividades urbanas y al verter aguas residuales sin el tratamiento apropiado.
- **Metales pesados (arsénico 0.1168 – 0.2031 y mercurio 0.077 – 0.080)**: Las concentraciones de arsénico y mercurio superaron los límites permisibles establecidos por los ECA, especialmente para aguas destinadas a la producción de agua potable. Estos resultados reflejan una presión contaminante relevante, vinculada a actividades humanas como la minería, el crecimiento urbano y el arrastre de contaminantes dentro de la cuenca.
- **Materia orgánica (DBO<sub>5</sub> 2.0 – 16.2 y DQO 6.7 – 90.7)**: Los resultados obtenidos muestran valores elevados de DBO<sub>5</sub> y DQO en algunos puntos de muestreo, superando los límites establecidos por los ECA. Esta situación evidencia la presencia de aportes orgánicos recientes, vinculados principalmente a descargas de aguas residuales y a la acumulación de materia orgánica durante la época de estiaje.
- **Nutrientes (nitritos <math><0.004 - 0.011</math>)**: Se encontraron concentraciones del parámetro nitritos que sobrepasan los ECA para la categoría de conservación del medio acuático, demostrando contribuciones de procedencia humana vinculadas con actividades agrarias, ganaderas y descargas de residuos.

Microbiología

- **Coliformes fecales 790 – 22 000**: Las concentraciones registradas superaron los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental en determinados puntos de

monitoreo, confirmando la presencia de contaminación fecal y un riesgo potencial para los usos del agua según la categoría evaluada.

#### **4.1.2. DISCUSIÓN: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA DEL RÍO COATA Y LA LAGUNA ESCURI EN LA JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL DURANTE LA ÉPOCA DE ESTIAJE**

Los resultados adquiridos en la presente investigación guardan consistencia con estudios previos desarrollados a nivel global, nacional y también local. En este sentido, Cumbal y Bustamante (2023) notificaron un deterioro gradual de la calidad del agua durante la temporada seca en la microcuenca del río Sicalpa, atribuido a la presión antrópica, lo cual coincide con las elevadas concentraciones de coliformes y materia orgánica registradas en el río Coata durante el estiaje.

De manera similar, Fábrega (2022) evidenció que la estacionalidad climática influye directamente en la variación de los estándares de estado del agua, observándose incrementos de coliformes fecales y sólidos disueltos durante la estación seca, comportamiento comparable al observado en la laguna Escuri, donde la acumulación de contaminantes fue más marcada debido a su naturaleza léntica.

En relación con los metales pesados, los resultados concuerdan con lo reportado por Brito (2022) y Quispe (2024), quienes identificaron altas concentraciones de arsénico y mercurio en aguas superficiales y subterráneos, asociadas a actividades antrópicas y características geológicas de las cuencas andinas. La persistencia de estos metales en los en los tres sitios de control, refuerza la hipótesis de una contaminación crónica en el margen del río Coata.

A nivel regional, los hallazgos son coherentes con lo reportado por Ortega (2022) y Callasaca (2022), quienes señalaron que el río Coata presenta una calidad del agua predominantemente regular, con superaciones frecuentes de DBO<sub>5</sub>, DQO y parámetros microbiológicos, especialmente en tramos influenciados por descargas urbanas. Esta

tendencia se confirma en el presente estudio, particularmente en los sectores Puente Maravillas y Puente Independencia.

Finalmente, los elevados niveles de coliformes totales coinciden con lo descrito por González et al. (2023) y Ñahui (2023), quienes identificaron que, aun cuando los parámetros fisicoquímicos pueden mantenerse dentro de los límites permisibles, la contaminación microbiológica continúa siendo uno de los principales riesgos para la salud humana en zonas rurales y altoandinas.

#### **4.2. DETERMINAR LAS CONCENTRACIONES DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y METALES PESADOS EN EL RÍO COATA Y LA LAGUNA ESCURI EN LA JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL DURANTE LA ÉPOCA DE ESTIAJE, CONFORME AL PROTOCOLO NACIONAL DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES.**

El procesamiento de los datos obtenidos durante la época de estiaje se desarrolló siguiendo los lineamientos técnicos vigentes para el monitoreo de cuerpos de agua superficiales en el país, así como los criterios establecidos por la normativa ambiental que regula los límites permisibles de calidad del agua. La información fue sistematizada según cada punto de muestreo, lo que permitió distinguir con claridad los parámetros que se encontraron dentro de los rangos aceptables y aquellos que excedieron los valores de referencia, facilitando una interpretación integral del estado de la calidad ambiental del recurso hídrico.

##### **4.2.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS EN EL RÍO COATA – PUENTE INDEPENDENCIA**

En el punto de monitoreo Puente Independencia, los resultados microbiológicos evidenciaron una concentración de coliformes totales de 790 NMP/100 mL, valor que superó ampliamente el ECA de 50 NMP/100 mL para aguas destinadas a la obtención de agua para consumo humano (Categoría 1, Subcategoría A1). Dicho resultado sugiere una

influencia directa de descargas residuales de origen doméstico y otras presiones antrópicas presentes a lo largo del cauce del río

El análisis de los parámetros fisicoquímicos mostró que seis de los doce parámetros evaluados excedieron los ECAs. Entre ellos destacaron los metales pesados mercurio (0,07991 mg/L) y arsénico (0,1168 mg/L), los cuales sobrepasaron los límites establecidos para la Categoría 1 (A1 y A2), evidenciando un riesgo potencial para usos vinculados al abastecimiento de agua para la población. De manera complementaria, los niveles registrados de aceites y grasas (0,6 mg/L), DBO<sub>5</sub> (5 mg/L) y DQO (15,2 mg/L) superaron los ECAs correspondientes, lo que reflejó la presencia de materia orgánica y contaminantes asociados a actividades domésticas y urbanas. El parámetro nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) registró 37,9 mg/L, valor que resulta incompatible con los criterios ambientales establecidos para la protección de los ecosistemas acuáticos Categoría 4 (conservación del ambiente acuático).

Por otro lado, los parámetros nitratos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), oxígeno disuelto (8,8 mg/L), amonio, cianuro total, dureza total y sulfatos se mantuvieron dentro de rangos aceptables, lo que evidenció que el deterioro de la calidad del agua en este sector fue parcial y estuvo principalmente asociado a la contaminación microbiológica, orgánica y por metales pesados.

#### **4.2.2. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS EN EL RÍO COATA – PUEENTE MARAVILLAS**

En el sitio de monitoreo correspondiente al Puente Maravillas, los resultados del análisis microbiológico evidenciaron una concentración de coliformes totales de 22 000 NMP/100 mL, valor que refleja una contaminación severa del recurso hídrico. Este nivel elevado permite inferir la influencia directa de fuentes contaminantes ubicadas aguas arriba, principalmente asociadas a descargas de aguas residuales domésticas y aportes provenientes de actividades pecuarias desarrolladas en el entorno de la cuenca.

Desde el punto de vista físico químico, se observó que una proporción reducida de los parámetros evaluados presentó concentraciones superiores a los valores de referencia ambiental. En particular, los metales pesados mercurio y arsénico registraron concentraciones de 0,07747 mg/L y 0,1299 mg/L, respectivamente, lo que evidencia una condición desfavorable para el aprovechamiento del agua con fines de abastecimiento poblacional. De manera complementaria, los nitratos alcanzaron un valor de 36,5 mg/L, superando los criterios establecidos para la protección de los ecosistemas acuáticos, lo que sugiere aportes difusos vinculados al uso del suelo y a prácticas agrícolas en la cuenca.

En contraste, variables como el oxígeno disuelto, que alcanzó 9,8 mg/L, así como aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sulfatos, amonio, cianuro total y dureza total, se mantuvieron dentro de rangos aceptables. Este comportamiento indica que, pese a la marcada afectación microbiológica y a la existencia de metales pesados, la mayoría de los parámetros fisicoquímicos no evidenció alteraciones significativas en este punto de monitoreo.

#### **4.2.3. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS EN LA LAGUNA ESCURI**

Desde el enfoque fisicoquímico, se identificó que una proporción significativa de los parámetros analizados presentó concentraciones superiores a los valores de referencia ambiental. En particular, el arsénico alcanzó 0,2031 mg/L y el mercurio 0,07995 mg/L, evidenciando una presión contaminante que compromete tanto los usos poblacionales como la protección del ecosistema acuático. Asimismo, los valores de demanda bioquímica de oxígeno (16,2 mg/L) y demanda química de oxígeno (90,7 mg/L) reflejaron una elevada acumulación de materia orgánica, asociada a procesos de concentración y limitada capacidad de autodepuración propios de este tipo de cuerpos de agua. Los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) alcanzaron 81,6 mg/L, superando de manera significativa los ECAs tanto

para aguas destinadas a consumo humano al igual que para la protección del medio acuático.

Por otro lado, variables como el oxígeno disuelto (8,2 mg/L), amonio, cianuro total, dureza total, sulfatos, nitritos y aceites y grasas, no evidenciaron alteraciones relevantes respecto a los criterios ambientales de referencia. No obstante, la combinación de alta carga microbiológica, elevados niveles de metales pesados y contaminación orgánica permitió establecer que la calidad del fluido hídrico en la laguna Escuri se encontró marcadamente degradada durante la época de estiaje.

#### 4.2.4. ESTADO FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO: RANGOS

**Tabla 05:** Rangos de los parámetros físicos, químicos y biológicos

Parámetro	M1 – Puente Independencia	M2 – Puente Maravillas	M3 – Laguna Escuri	ECA Cat. 1 – A1	ECA Cat. 4	Interpretación técnica
Coliformes totales (NMP/100 mL)	790	22 000	13 000	50	—	Sobrepasa ampliamente en los tres puntos. Evidencia contaminación microbiológica severa por descargas domésticas y ganaderas.
Nitratos NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	37.9	36.5	81.6	50	13	Cumple Cat. 1 en M1 y M2; sobrepasa Cat. 4 en todos y supera Cat. 1 en M3, indicando aporte agrícola y acumulación en la laguna.
Nitritos NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	<0.004	<0.004	0.011	3	—	Valores bajos; cumple ECAs en los tres puntos.

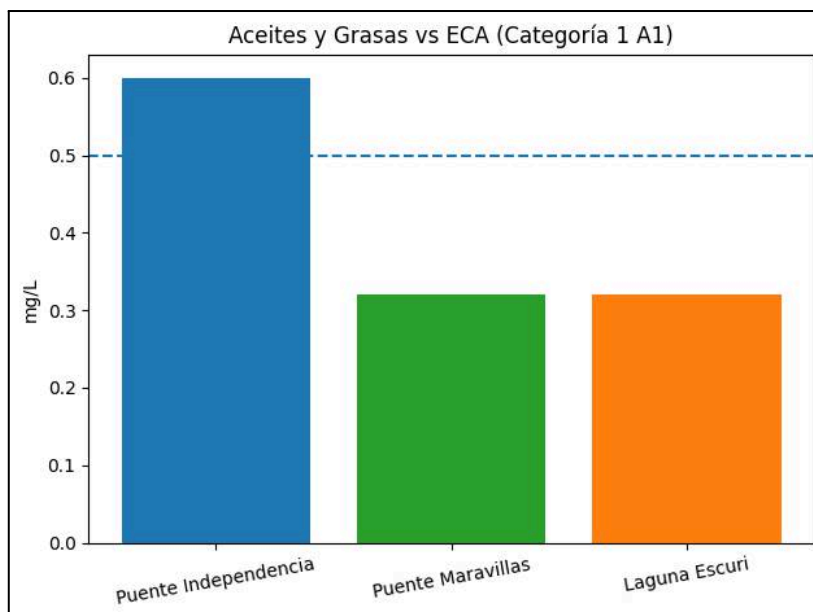
Parámetro	M1 – Puente Independencia	M2 – Puente Maravillas	M3 – Laguna Escuri	ECA Cat. 1 – A1	ECA Cat. 4	Interpretación técnica
Oxígeno disuelto (mg/L)	8.8	9.8	8.2	≥ 6	≥ 5	Cumple ampliamente; buena oxigenación, sin condiciones de hipoxia.
Amonio NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	0.876	0.906	1.03	1.5	—	Cumple ECAs, aunque M3 presenta valor cercano al límite, asociado a materia orgánica.
Arsénico (mg/L)	0.1168	0.1299	0.2031	0.01	0.15	Sobrepasa ECAs en todos los puntos, alto riesgo sanitario y ambiental; posible origen geogénico y antrópico.
Mercurio (mg/L)	0.07991	0.07747	0.0799	0.001	0.000	Supera ampliamente ECAs en las tres muestras; riesgo crítico para ecosistemas y salud humana.
Cianuro total (mg/L)	<0.005	<0.005	<0.005	0.07	0.005	Cumple ECAs, no se evidencia contaminación por cianuros.
Dureza total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	223	219	460.7	500	—	Agua moderadamente dura a dura; dentro del ECA, sin restricción ambiental.

Parámetro	M1 – Puente Independencia	M2 – Puente Maravillas	M3 – Laguna Escuri	ECA Cat. 1 – A1	ECA Cat. 4	Interpretación técnica
Sulfatos (mg/L)	84.3	84.9	128	250	—	Cumple ECAs; concentraciones moderadas, sin riesgo ambiental.
Aceites y grasas (mg/L)	0.6	<0.32	<0.32	0.5	5	M1 sobrepasa ECA Cat. 1, indicando aporte puntual de residuos oleosos; M2 y M3 cumplen.
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	5	2	16.2	3	5	Sobrepasa en M1 y M3; en M3 evidencia alta carga orgánica biodegradable.
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	15.2	6.7	90.7	10	—	M1 y M3 sobrepasan ECAs, especialmente M3, reflejando acumulación de materia orgánica.

#### 4.2.5. INTERPRETACIÓN TÉCNICA DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS

**Tabla 06:** Aceites y grasas

Punto de monitoreo	Resultado (mg/L)	ECA Cat. 1 A 1 (mg/L)	Cumplimiento	Interpretación
Puente Independencia	0.6	$\leq 0.5$	No cumple	Evidencia presencia de residuos oleosos de origen antrópico (actividades domésticas, tránsito vehicular o descargas difusas).
Puente Maravillas	< 0.32	$\leq 0.5$	Cumple	No se evidenció contaminación significativa por aceites y grasas.
Laguna Escuri	< 0.32	$\leq 0.5$	Cumple	El parámetro no simboliza amenaza para la calidad del agua en época de estiaje.



**Límite ECA (Categoría 1 – Subcategoría A1):  $\leq 0.5$  mg/L**

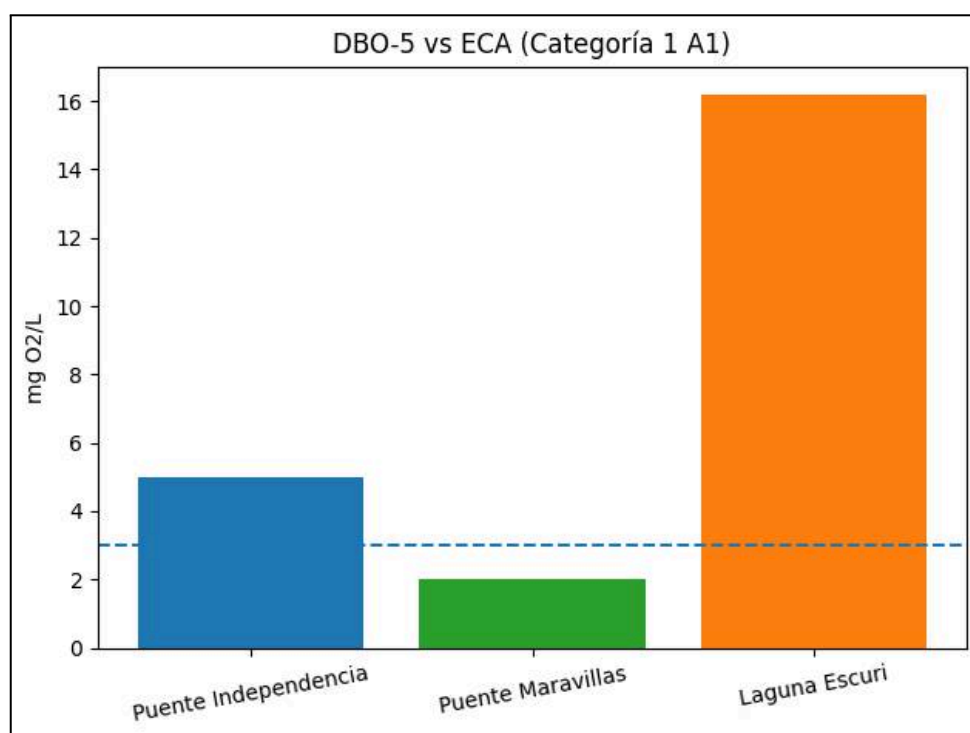
**Interpretación:**

El comportamiento del parámetro aceites y grasas mostraron un comportamiento diferenciado entre los puntos evaluados. En el sector Puente Independencia, la concentración registrada (0.6 mg/L) concentración que excedió los valores permitidos para este parámetro según la normativa ambiental peruana, evidenciando la presencia de residuos oleosos de origen antrópico, posiblemente asociados a descargas domésticas, actividades urbanas y escorrentía superficial.

En los puntos Puente Maravillas y Laguna Escuri, las concentraciones se mantuvieron por debajo del límite permisible, indicando ausencia significativa de contaminación por este parámetro. En consecuencia, la variable no cumplió el ECA de manera puntual, evidenciando contaminación localizada.

**Tabla 07:** Demanda bioquímica de oxígeno DBO<sub>5</sub>

Punto de monitoreo	Resultado (mg O <sub>2</sub> /L)	ECA Cat. 1 A1	Cumplimiento	Interpretación
Puente Independencia	5	≤ 3	No cumple	Indica presencia de materia orgánica biodegradable asociada a descargas domésticas.
Puente Maravillas	2	≤ 3	Cumple	Baja carga orgánica biodegradable.
Laguna Escuri	16.2	≤ 3	No cumple	Alta carga orgánica, riesgo de deterioro ecológico del cuerpo léntico.



**Límite ECA (Categoría 1 – Subcategoría A1): ≤ 3 mg O<sub>2</sub>/L**

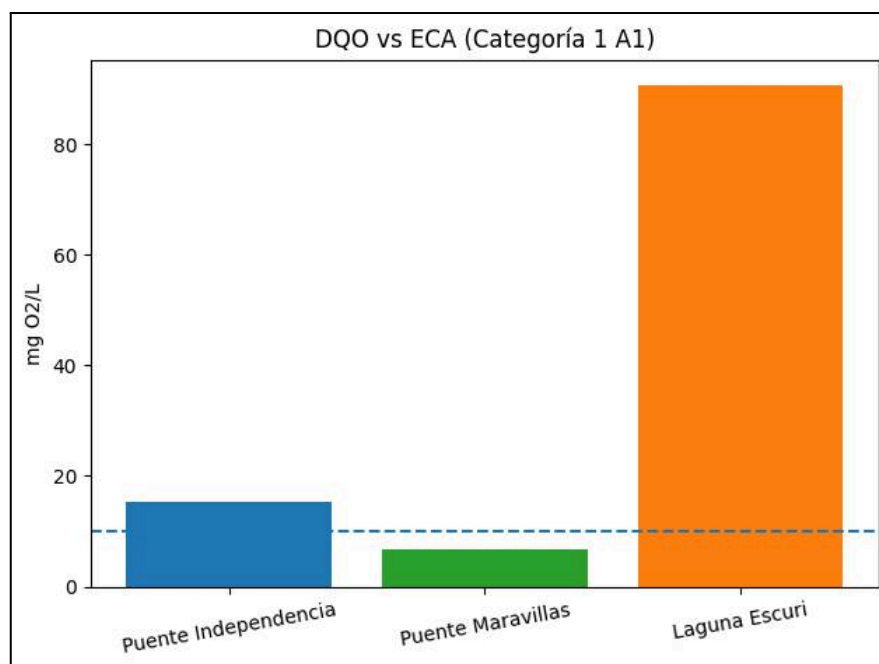
### Interpretación:

Los resultados de DBO<sub>5</sub> evidenciaron una elevada carga orgánica biodegradable en el punto Puente Independencia (5 mg O<sub>2</sub>/L) y, de forma más crítica, en la Laguna Escuri (16.2 mg O<sub>2</sub>/L), superando ampliamente los valores permisibles establecidos en el ECA. Estos resultados indican aportes significativos de materia orgánica provenientes de aguas residuales domésticas, residuos ganaderos o procesos de descomposición natural.

Por el contrario, el punto Puente Maravillas presentó valores dentro del límite normativo, reflejando una menor presión orgánica. En conjunto, la variables se ubicó por encima de los valores de referencia vigentes para la calidad del agua en dos de los tres puntos analizados.

**Tabla 08:** Demanda química de oxígeno DQO

Punto de monitoreo	Resultado (mg O <sub>2</sub> /L)	ECA Cat. 1 A1	Cumplimiento	Interpretación
Puente Independencia	15.2	≤ 10	No cumple	Presencia de materia orgánica total y compuestos oxidables.
Puente Maravillas	6.7	≤ 10	Cumple	Buena calidad relativa del agua.
Laguna Escuri	90.7	≤ 10	No cumple	Contaminación orgánica severa acumulada en el ecosistema lagunar.



**Límite ECA (Categoría 1 – Subcategoría A1):  $\leq 10$  mg O<sub>2</sub>/L**

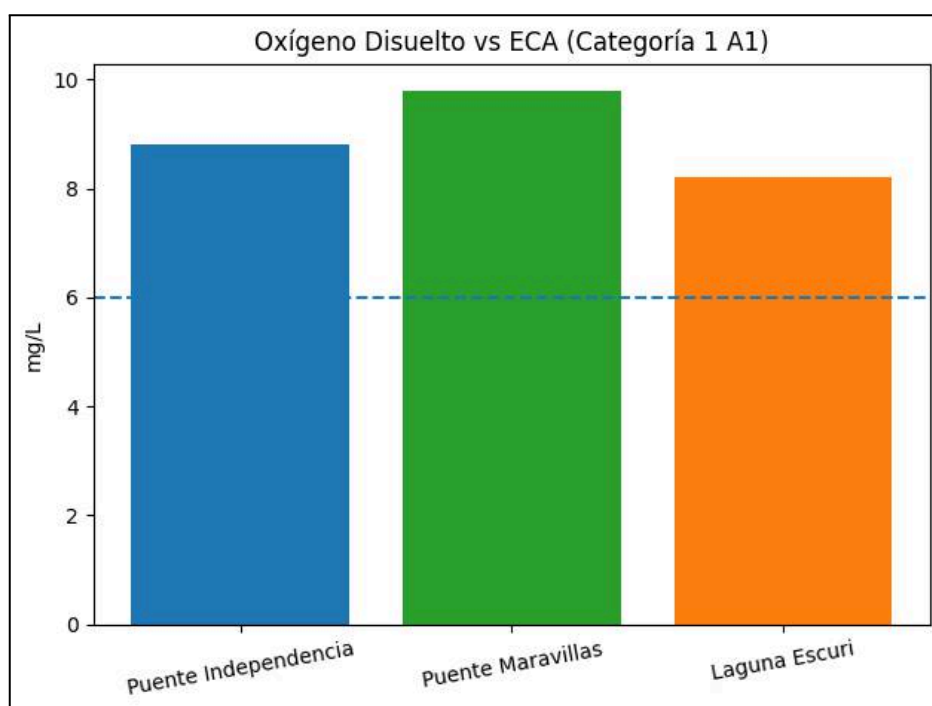
**Interpretación:**

La DQO presentó valores elevados en el Puente Independencia (15.2 mgO<sub>2</sub>/L) y de manera severa en la Laguna Escuri (90.7 mgO<sub>2</sub>/L), superando los límites establecidos según la normativa ambiental peruana. Estos valores indican una alta presencia de Composición orgánica total y compuestos químicos susceptibles de oxidación, lo cual evidencia procesos de contaminación acumulativa, especialmente en cuerpos de agua lénticos como la laguna.

El punto Puente Maravillas mostró valores dentro del rango permitido. En consecuencia, el parámetro DQO no cumplió con el ECA de forma generalizada.

**Tabla 09:** Oxígeno disuelto

Punto de monitoreo	Resultado (mg/L)	ECA Cat. 4	Cumplimiento	Interpretación
Puente Independencia	8.8	$\geq 5$	Cumple	Condiciones adecuadas para la vida acuática.
Puente Maravillas	9.8	$\geq 5$	Cumple	Buena oxigenación del cuerpo de agua.
Laguna Escuri	8.2	$\geq 5$	Cumple	No se evidencia hipoxia durante la época de estiaje.



**Límite ECA (Categoría 4):  $\geq 5$  mg/L**

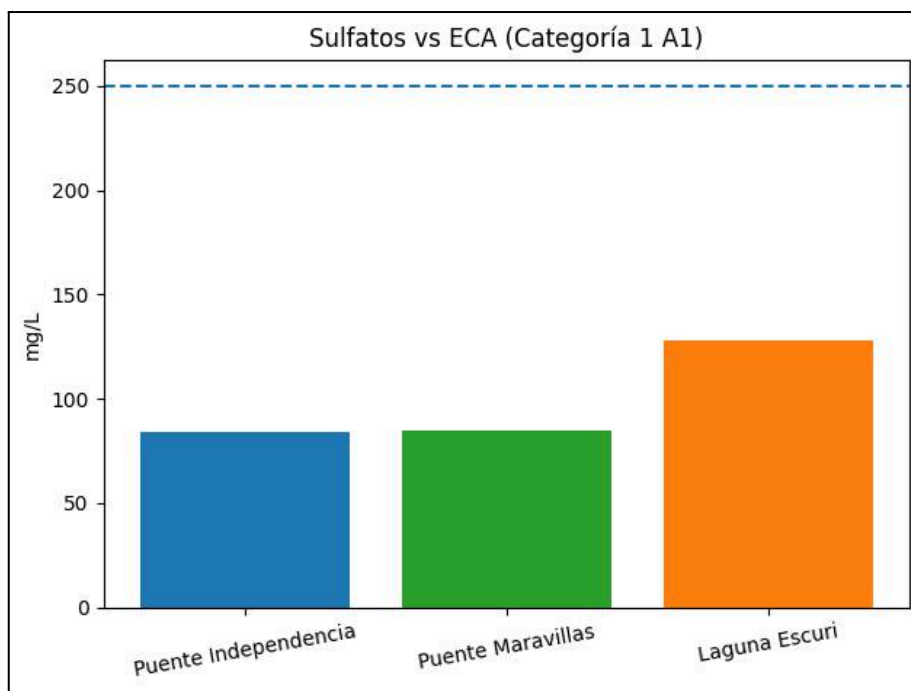
**Interpretación:**

El análisis del oxígeno disuelto evidenció concentraciones elevadas en los tres sectores monitoreados, con valores comprendidos entre 8,8 y 9,8 mg/L. Estos resultados reflejan

un adecuado intercambio gaseoso en el sistema hídrico, lo cual favorece el mantenimiento de los procesos biológicos y la supervivencia de los organismos acuáticos. En consecuencia, no se identificaron condiciones de déficit de oxígeno durante el periodo de estiaje, confirmándose un comportamiento favorable de este parámetro en el área de estudio.

**Tabla 10:** Sulfatos

<b>Punto de monitoreo</b>	<b>Resultado (mg/L)</b>	<b>ECA Cat. 1 A1</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Interpretación</b>
Puente Independencia	84.3	≤ 250	Cumple	Concentración natural, sin impacto negativo.
Puente Maravillas	84.9	≤ 250	Cumple	Sin indicios de contaminación por sulfatos.
Laguna Escuri	128	≤ 250	Cumple	Aporte mineral natural del entorno.



**Límite ECA (Categoría 1 – Subcategoría A 1):  $\leq 250$  mg/L**

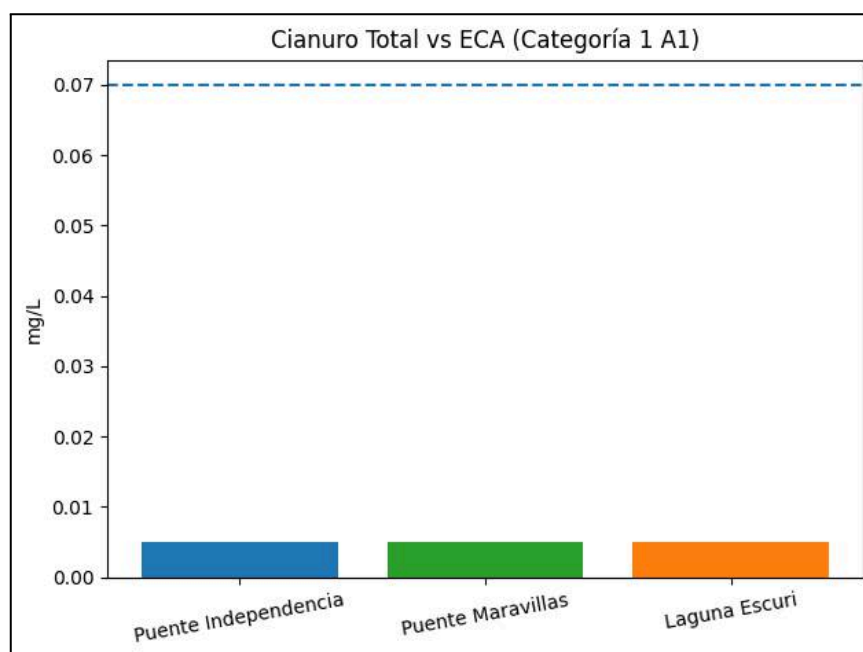
**Interpretación:**

Las concentraciones de sulfatos registradas en los tres sectores monitoreados se ajustan a los rangos considerados aceptables para la protección de la calidad del agua, lo que indica que este parámetro responde principalmente a características geológicas naturales de la cuenca y no a procesos de contaminación antrópica.

En consecuencia, el parámetro cumplió con los criterios técnicos de evaluación ambiental en todos los puntos evaluados.

**Tabla 11:** Cianuro total

Punto de monitoreo	Resultado (mg/L)	ECA Cat. 1 A1	Cumplimiento	Interpretación
Puente Independencia	<0.005	$\leq 0.07$	Cumple	Ausencia de contaminación por compuestos cianurados.
Puente Maravillas	<0.005	$\leq 0.07$	Cumple	Sin riesgo toxicológico asociado.
Laguna Escuri	<0.005	$\leq 0.07$	Cumple	No se detectó impacto por cianuros.



**Límite ECA (Categoría 1 – Subcategoría A1):  $\leq 0.07$  mg/L**

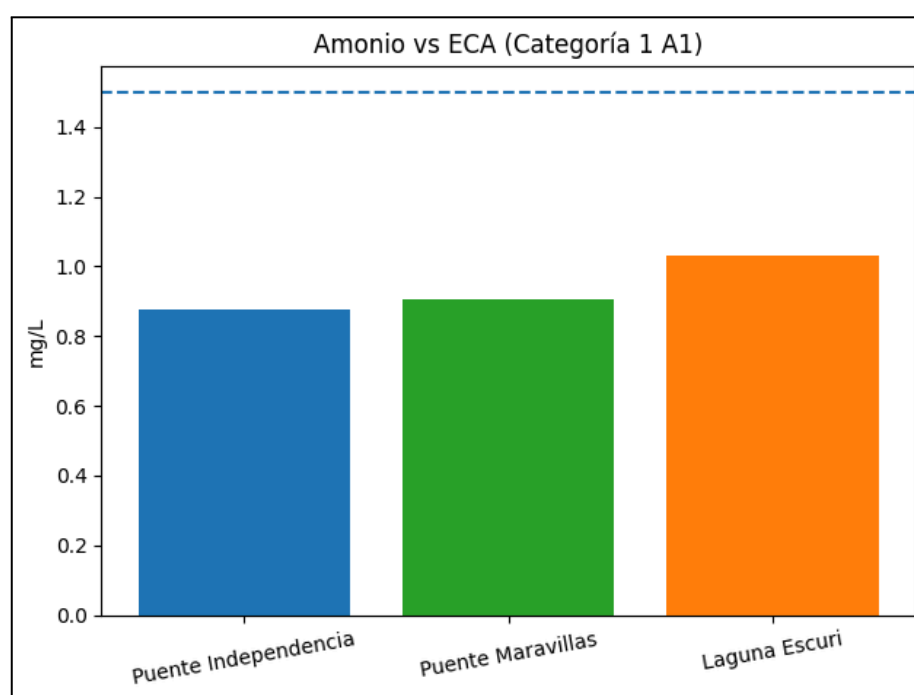
**Interpretación:**

Los análisis de cianuro total se encontraron por debajo del umbral de control en todos los puntos de monitoreo, evidenciando la ausencia de contaminación asociada a actividades industriales o mineras.

Este parámetro cumplió plenamente con la normativa ambiental vigente, no representando riesgo toxicológico para el ecosistema acuático.

**Tabla 12:** Amonio (NH<sub>3</sub>)

Punto de monitoreo	Resultado o (mg/L)	ECA Cat. 1 A1	Cumplimiento	Interpretación
Puente Independencia	0.876	≤ 1.5	Cumple	Aporte moderado de nitrógeno reducido.
Puente Maravillas	0.906	≤ 1.5	Cumple	Compatible con aguas superficiales impactadas levemente.
Laguna Escuri	1.03	≤ 1.5	Cumple	Indica procesos de descomposición orgánica.



**Límite ECA (Categoría 1 – Subcategoría A1): ≤ 1.5 mg/L**

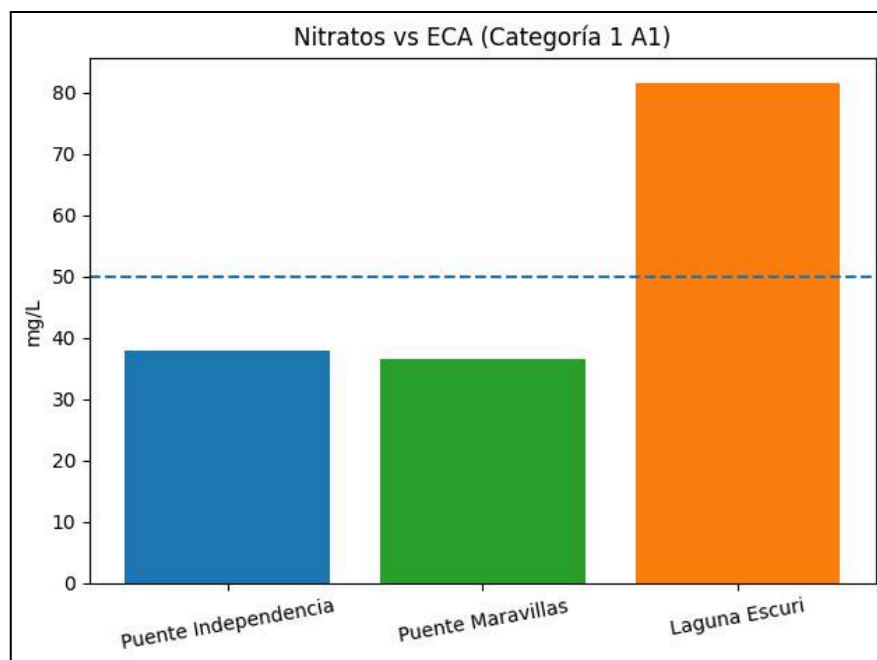
### Interpretación:

Los niveles de amonio registradas en los sectores monitoreados se mantuvieron dentro de los límites permisibles, indicando procesos normales de degradación de materia orgánica sin alcanzar niveles críticos.

Por tanto, el parámetro amonio cumplió con los ECA, aunque su presencia sugiere aportes orgánicos moderados.

**Tabla 13:** Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )

Punto de monitoreo	Resultado (mg/L)	ECA Cat. 4	Cumplimiento	Interpretación
Puente Independencia	37.9	$\leq 13$	No cumple	Aporte significativo por actividades antrópicas.
Puente Maravillas	36.5	$\leq 13$	No cumple	Persistencia de contaminación difusa río arriba.
Laguna Escuri	81.6	$\leq 13$	No cumple	Elevado riesgo de eutrofización.



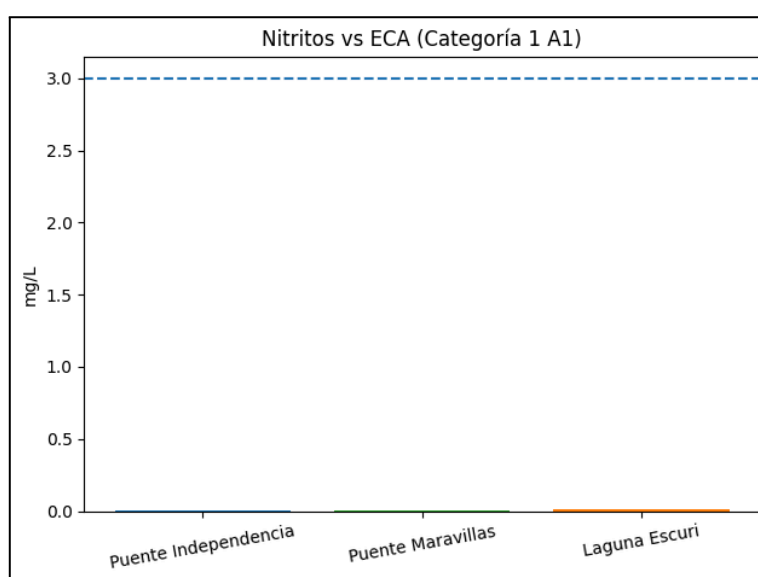
**Límite ECA (Categoría 4):  $\leq 13$  mg/L**

**Interpretación:**

El análisis de nitratos indicó concentraciones elevadas en todos los sitios evaluados, alcanzando su máximo en la Laguna Escuri. Este patrón sugiere una influencia significativa de actividades agrícolas, aportes ganaderos y escorrentía superficial sobre la calidad del agua. La acumulación de este nutriente genera un riesgo elevado de eutrofización, evidenciando que el parámetro no cumple los criterios establecidos para la protección del ecosistema acuático.

**Tabla 14:** Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )

Punto de monitoreo	Resultado o (mg/L)	ECA Cat. 1 A1	Cumplimiento	Interpretación
Puente Independencia	<0.004	$\leq 3$	Cumple	No representa riesgo ambiental.
Puente Maravillas	<0.004	$\leq 3$	Cumple	Concentración insignificante.
Laguna Escuri	0.011	$\leq 3$	Cumple	Presencia mínima de nitrificación incompleta.



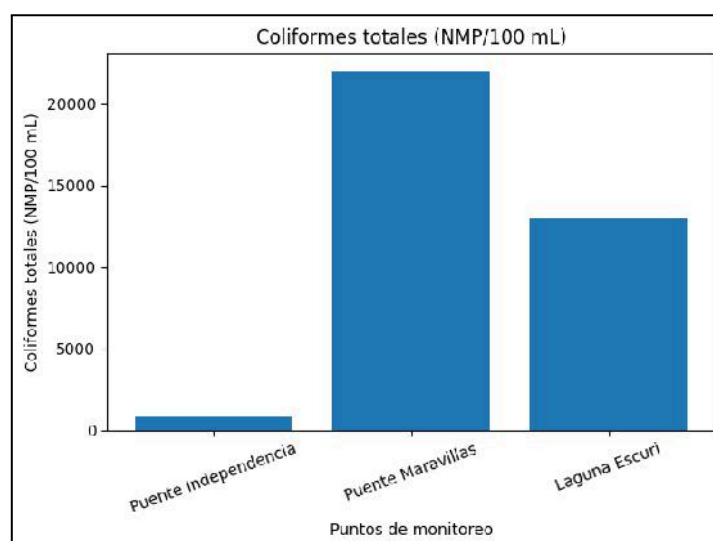
**Límite ECA (Categoría 1 – Subcategoría A1):  $\leq 3$  mg/L**

**Interpretación:**

En los tres puntos de monitoreo, las concentraciones de nitritos se encontraron significativamente por debajo de los niveles máximos permitidos. Por lo tanto, el parámetro se considera dentro de los límites aceptables para la protección del recurso hídrico.

**Tabla 15:** Coliformes totales

Punto de monitoreo	Resultado (NMP/100 mL)	ECA Cat. 1 A1	Cumplimiento	Interpretación
Puente Independencia	790	$\leq 50$	No cumple	Contaminación microbiológica alta.
Puente Maravillas	22 000	$\leq 50$	No cumple	Fuerte influencia de descargas residuales.
Laguna Escuri	13 000	$\leq 50$	No cumple	Agua no adecuada para consumo de seres humanos.



**Límite ECA (Categoría 1 – Subcategoría A1):  $\leq 50$  NMP/100 mL**

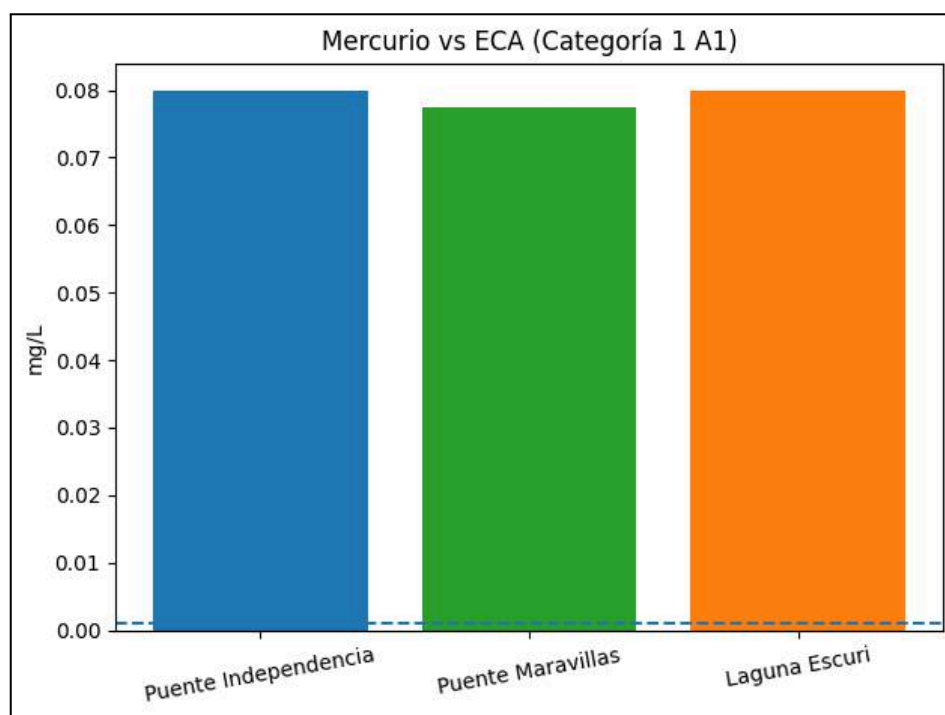
**Interpretación:**

En los tres puntos de monitoreo, las concentraciones de coliformes totales excedieron los límites permitidos, siendo especialmente altas en el Puente Maravillas y la Laguna Escuri. Esto refleja una contaminación microbiológica significativa, relacionada con descargas

domésticas, actividad ganadera y manejo inadecuado de excretas. Por lo tanto, el agua no es apta para consumo humano sin tratamiento.

**Tabla 16:** Mercurio (Hg)

Punto de monitoreo	Resultado o (mg/L)	ECA Cat. 1 A1	Cumplimiento	Interpretación
Puente Independencia	0.07991	$\leq 0.001$	No cumple	Riesgo toxicológico elevado.
Puente Maravillas	0.07747	$\leq 0.001$	No cumple	Contaminación por metales pesados persistente.
Laguna Escuri	0.07995	$\leq 0.001$	No cumple	Acumulación peligrosa en cuerpo léntico.



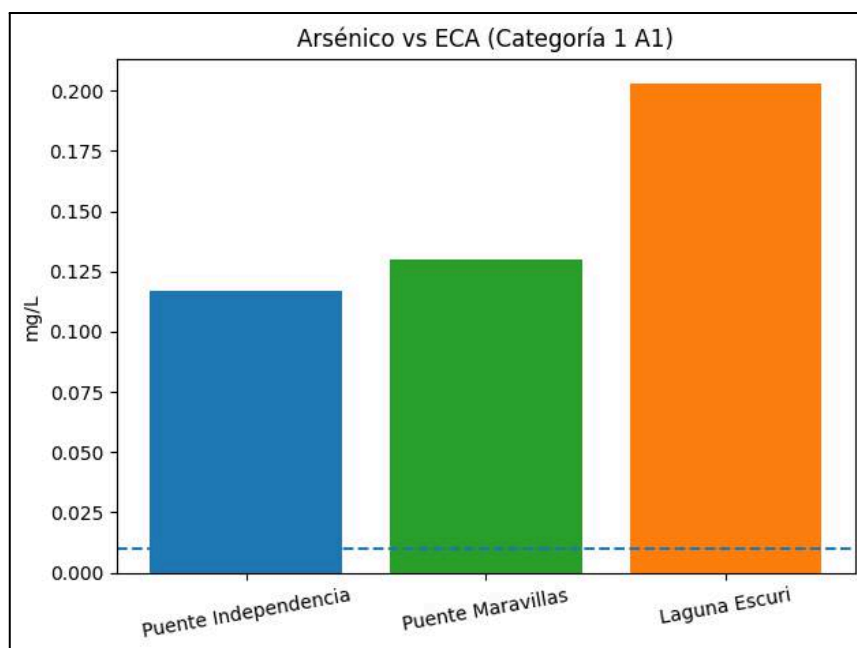
**Límite ECA (Categoría 1 – Subcategoría A1):  $\leq 0.001$  mg/L**

**Interpretación:**

En los tres puntos evaluados, las concentraciones de mercurio sobrepasan significativamente los límites permitidos, representando un riesgo importante tanto para la salud humana como para los ecosistemas acuáticos. Este hallazgo sugiere la presencia de aportes de origen natural y/o actividades humanas. Por lo tanto, el parámetro no se encuentra dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa vigente

**Tabla 17:** Arsénico (As)

<b>Punto de monitoreo</b>	<b>Resultado (mg/L)</b>	<b>ECA Cat. 1 A1</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Interpretación</b>
Puente Independencia	0.1168	≤ 0.01	No cumple	Riesgo crónico para la salud humana.
Puente Maravillas	0.1299	≤ 0.01	No cumple	Contaminación severa por origen geogénico/antrópico.
Laguna Escuri	0.2031	≤ 0.01	No cumple	Alta peligrosidad ambiental.



**Límite ECA (Categoría 1 – Subcategoría A1):  $\leq 0.01$  mg/L**

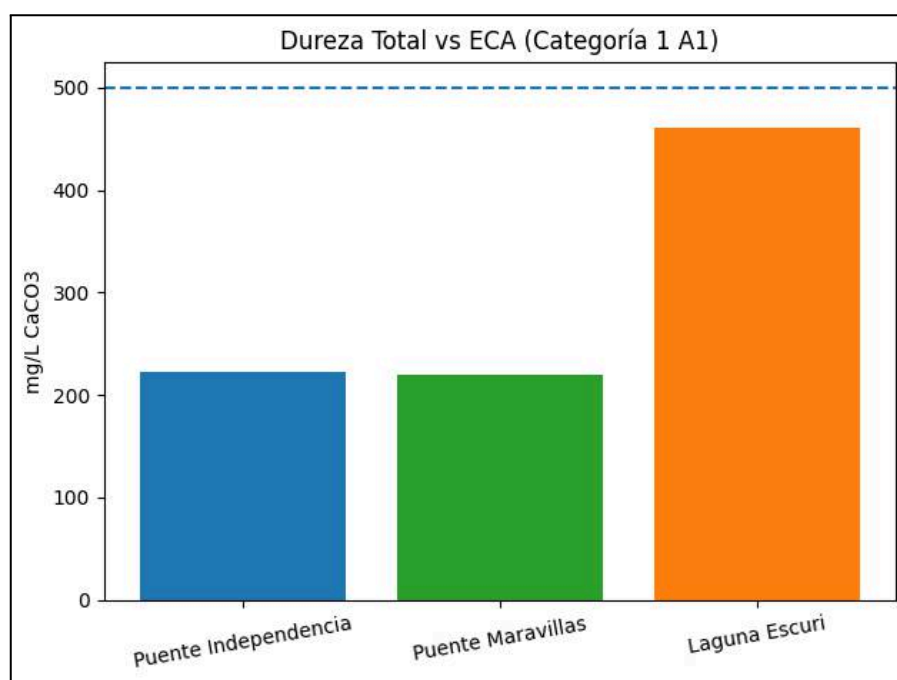
**Interpretación:**

Los valores de arsénico excedieron ampliamente los límites permisibles en todos los puntos de monitoreo, siendo más críticos en la **Laguna Escuri**, lo que evidencia una contaminación severa de origen natural y/o antrópico.

Este parámetro **no cumple con el ECA**, representando un riesgo crónico para la salud y el ambiente

**Tabla 18:** Dureza total

Punto de monitoreo	Resultado (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	ECA	Cumplimiento	Interpretación
Puente Independencia	223	≤ 500	Cumple	Agua moderadamente dura.
Puente Maravillas	219	≤ 500	Cumple	Característica natural del agua.
Laguna Escuri	460.7	≤ 500	Cumple	Alta dureza, sin exceder el ECA.



**Límite ECA:** ≤ 500 mg/L CaCO<sub>3</sub>

**Interpretación:**

La dureza total registrada se mantuvo dentro de los valores permitidos, reflejando una

característica natural del agua asociada a la geología de la cuenca.

Este parámetro **cumplió con la normativa ambiental vigente.**

#### **4.2.6. COMPARATIVA FINAL**

De manera global, los hallazgos obtenidos durante el periodo de estiaje evidenciaron que la condición ambiental del flujo del río Coata y la Laguna Escuri presenta un comportamiento heterogéneo, con diferencias marcadas entre los puntos de monitoreo.

Desde la perspectiva físico-química, parámetros como oxígeno disuelto, sulfatos, cianuro total, amonio, nitritos y dureza total cumplieron con las normas de calidad ambiental, indicando que algunos componentes del sistema hídrico se encuentran deteriorados. No obstante, la DBO-5, DQO y nitratos mostraron incrementos importantes, especialmente en la Laguna Escuri, reflejando procesos de acumulación de materia orgánica y nutrientes propios de cuerpos de agua con baja renovación hidráulica.

En cuanto al componente microbiológico, los coliformes totales superaron ampliamente los ECAs en todos los puntos evaluados, constituyéndose en uno de los elementos más cruciales de la pureza del agua, lo que evidencia la influencia directa de descargas domésticas, actividades pecuarias y manejo inadecuado de residuos.

Finalmente, la evaluación de metales pesados reveló que los valores de mercurio y arsénico excedieron los ECAs en todos los puntos de monitoreo, confirmando una condición de riesgo ambiental y sanitario, que restringe la utilización del agua para consumo del hombre y conservación ecológica.

#### **4.2.7. DISCUSIÓN: ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS EN ÉPOCA DE ESTIAJE APLICANDO EL PROTOCOLO NACIONAL DE MONITOREO**

La evaluación de los parámetros de calidad del agua se llevó a cabo siguiendo las pautas oficiales para el monitoreo de cuerpos naturales de agua superficial, establecidas por la normativa nacional, y los resultados se compararon con los Estándares de Calidad Ambiental (D.S. N.º 004-2017-MINAM), permitió identificar patrones de contaminación

claramente diferenciados entre los puntos de monitoreo y coherentes con la dinámica hidrológica propia de la época de estiaje.

En primer lugar, los resultados microbiológicos evidenciaron una contaminación generalizada en los tres puntos evaluados, reflejada en las elevadas concentraciones de coliformes totales. Esta situación concuerda con lo reportado por Cumbal y Bustamante (2023), quienes observaron un deterioro progresivo de la calidad del agua durante la temporada seca en la microcuenca del río Sicalpa, asociado a descargas domésticas y asentamientos humanos. De manera similar, González et al. (2023) y Ñahui (2023) señalaron que, aun cuando los parámetros fisicoquímicos pueden mantenerse dentro de los límites normativos, la contaminación microbiológica constituye el principal factor limitante para el uso del agua en zonas rurales y altoandinas. En el presente estudio, este comportamiento fue más crítico en el sector Puente Maravillas y en la laguna Escuri, lo que evidencia una mayor presión antrópica y deficiencias en la gestión de aguas servidas.

Desde la perspectiva fisicoquímica, los parámetros asociados a la carga orgánica (DBO<sub>5</sub> y DQO) mostraron un comportamiento diferenciado entre el sistema fluvial y el cuerpo léntico. Mientras que en el río Coata los valores indican una contaminación orgánica moderada, en la laguna Escuri se registraron concentraciones significativamente elevadas, reflejando procesos de acumulación de materia orgánica propios de cuerpos de agua con baja renovación hidráulica durante el estiaje. Este patrón coincide con lo descrito por Callasaca (2022), quien reportó mayores niveles de DBO<sub>5</sub> y DQO en tramos del río Coata influenciados por descargas directas, así como con Fábrega (2022), quien evidenció que la estacionalidad climática intensifica la acumulación de contaminantes en periodos de baja precipitación.

En relación con los nutrientes, los nitratos presentaron concentraciones elevadas en los tres puntos de monitoreo, superando los ECAs para la conservación del ambiente

acuático, siendo más críticos en la laguna Escuri. Este comportamiento es consistente con lo señalado por Fábrega (2022), quien indicó que durante la estación seca se incrementan los compuestos nitrogenados debido a la menor dilución y al aporte continuo de actividades agrícolas y ganaderas. Asimismo, el riesgo de eutrofización asociado a estos valores refuerza la necesidad de un manejo integral de la cuenca.

Por otro lado, los parámetros de oxigenación mostraron condiciones favorables en todos los puntos evaluados, con concentraciones de oxígeno disuelto por encima de los valores mínimos considerados adecuados para la biota acuática. Este resultado es coherente con lo reportado por Ortega (2022), quien encontró valores adecuados de oxígeno disuelto en el río Coata, aun en escenarios de contaminación orgánica, lo que sugiere que los procesos de reaeración natural permiten mantener niveles aceptables durante el estiaje.

Uno de los hallazgos más importantes del estudio fue la detección de niveles elevados de ciertos metales tóxicos, específicamente arsénico y mercurio, que excedieron los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental en los tres sitios de muestreo. Esta situación coincide con lo investigado por Brito (2022) y Quispe (2024), quienes identificaron excedencias de arsénico y mercurio en cuerpos de agua superficiales y subterráneos andinos, atribuidas tanto a características geogénicas como a actividades antrópicas, especialmente de origen minero. En este sentido, la persistencia de estos metales en el río Coata y la laguna Escuri evidencia una contaminación crónica que limita severamente el uso de la fuente hídrica para consumo doméstico y conservación ecológica.

Finalmente, parámetros como sulfatos, cianuro total, amonio, nitritos y dureza total se ubicaron dentro de los rangos establecidos por la normativa ambiental, lo que evidencia que no todos los parámetros presentan alteraciones significativas en el sistema hídrico. Este comportamiento coincide con lo señalado por Carhuaricra (2024), quien reportó un

cumplimiento mayoritario de los ECAs en parámetros fisicoquímicos básicos, con excedencias puntuales asociadas a contaminantes específicos.

En conjunto, La evaluación realizada siguiendo las directrices del monitoreo nacional evidenció que el estado del agua en el río Coata y la laguna Escuri durante la época de estiaje muestra alteraciones selectivas, vinculadas principalmente a contaminación por microorganismos, materia orgánica y metales pesados, mientras que otros indicadores permanecen dentro de niveles seguros. Esto sugiere que las presiones derivadas de actividades humanas, combinadas con las condiciones hidrológicas propias del estiaje, son los principales determinantes que influyen en la calidad del recurso hídrico en la jurisdicción del distrito de San Miguel, en concordancia con los antecedentes revisados a nivel internacional, nacional y regional.

#### **4.3. COMPARAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ÉPOCA DE ESTIAJE CON LOS CORRESPONDIENTES A ÉPOCA MEDIA Y ÉPOCA ALTA DE PRECIPITACIONES, A FIN DE IDENTIFICAR DIFERENCIAS ESTACIONALES EN LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA, EN LA JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL, 2025.**

La evaluación del estado del agua en el río Coata y la laguna Escuri se realizó siguiendo las directrices del monitoreo nacional, considerando tres momentos hidrológicos: temporada de lluvias intensas (marzo), periodo intermedio (julio) y temporada de estiaje (octubre). Este procedimiento permitió identificar las variaciones estacionales en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, así como determinar qué indicadores excedieron los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental, evidenciando la influencia de fuentes antrópicas a lo largo de los sitios de muestreo.

##### **4.3.1. ESTACIÓN DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA: PUENTE RÍO MARAVILLAS (3 ÉPOCAS)**

En el punto de muestreo Puente Maravillas, se observó una variación estacional significativa en los distintos indicadores del estado del agua. Durante el periodo de

estiaje, el arsénico (As) presentó un valor de 0,1299 mg/L, excediendo los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental, mientras que en la temporada de lluvias su concentración se mantuvo por debajo del límite de detección (<0,0012 mg/L), mostrando un efecto de dilución característico de los periodos de mayor caudal.

Por su parte, el mercurio (Hg) presentó un comportamiento opuesto, alcanzando su mayor nivel durante la época de precipitaciones intensas (0,118 mg/L), lo que superó ampliamente los parámetros permisibles, mientras que en la estación de estiaje registró una concentración menor (0,07747 mg/L), este patrón sugiere un transporte de contaminantes provenientes de zonas circundantes hacia el río durante la temporada de lluvias.

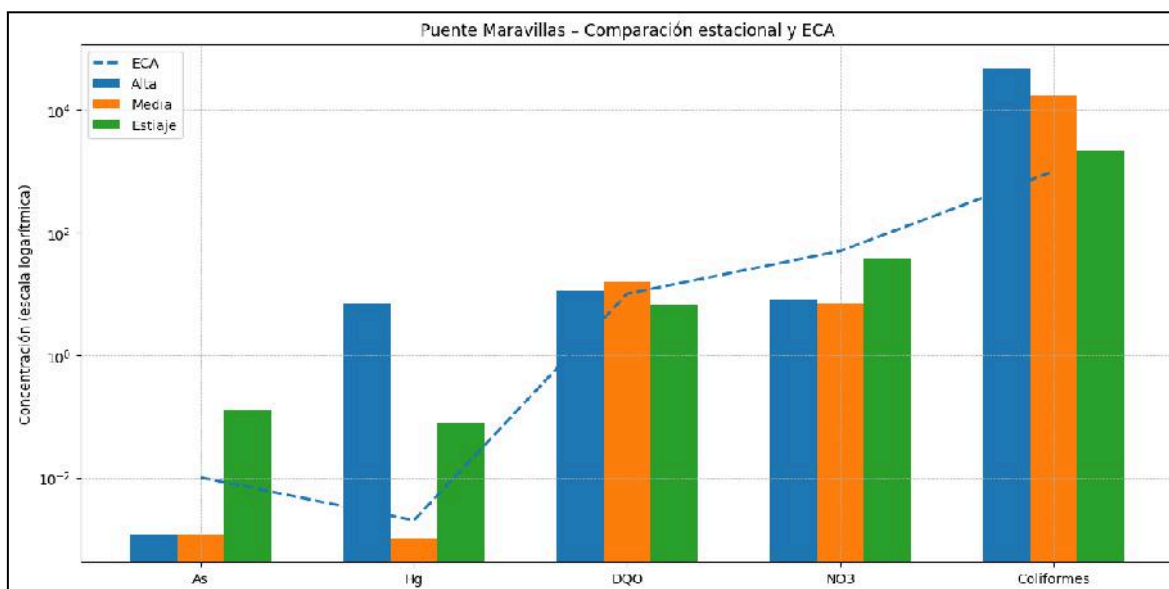
En cuanto a la demanda química de oxígeno (DQO), mostró concentraciones superiores a los ECA durante la época alta (11,0 mg/L) y la época media (15,9 mg/L), siendo esta última la de mayor impacto, mientras que en la época de estiaje la concentración disminuyó a 6,7 mg/L, manteniéndose dentro de los límites permisibles.

Respecto a los coliformes totales, la mayor concentración se registró durante la época alta del caudal (49 000 NMP/100 mL), seguida de la época media (17 000 NMP/100 mL) y la época de estiaje (2 200 NMP/100 mL), evidenciando una disminución progresiva conforme se redujo el caudal. Asimismo, se observó un incremento significativo de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), alcanzando 36,5 mg/L en la época de estiaje, valor considerablemente superior al registrado en la época alta (**7,9 mg/L**), lo que indicó un riesgo potencial asociado a la acumulación de nutrientes en períodos de bajo caudal.

**Tabla 19:** Comparativa de parámetros y resultados en la estación de control de calidad del agua en el puente maravillas

Parámetro	Época alta	Época media	Época baja (estiaje)	Interpretación
Aceites y grasas (mg/L)	<0.32	<0.32	<0.32	Cumple en las tres épocas; ausencia de contaminación oleosa.
DBO-5 (mg/L)	2	2	2	Carga orgánica baja y estable.
DQO (mg/L)	11	15.9	6.7	Supera ECA en época media; influencia de esorrentía y arrastre.
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.6	6.6	9.8	Adecuada oxigenación en todas las épocas.
Sulfatos (mg/L)	0.563	26	84.9	Incremento progresivo, sin superar ECA.
Cianuro total (mg/L)	0.015	–	<0.005	Sin riesgo ambiental.
Amonio (mg/L)	0.353	0.563	0.906	Incremento en estiaje por menor dilución.
Nitratos (mg/L)	7.9	6.95	36.5	Incremento crítico en estiaje.
Nitritos (mg/L)	0.006	0.015	<0.004	Cumple en todas las épocas.

Parámetro	Época alta	Época media	Época baja (estiaje)	Interpretación
Coliformes totales (NMP/100 mL)	49 000	17 000	2 200	Disminución progresiva, pero aún elevados.
Mercurio (mg/L)	0,118	–	0.077	Muy elevado en época alta; probable arrastre pluvial.
Arsénico (mg/L)	<0.0012	–	0.1299	Elevado en estiaje por concentración natural.
Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	–	–	219	Agua moderadamente dura.



Por otro lado, los Coliformes fecales totales registrados con mayor incidencia fue en la época alta del caudal con 49 000 NMP/100 mL, mientras que en la época baja del caudal o estiaje se registró 2 200 NMP/100 mL, reduciendo a más de la mitad a comparación de

la época alta, pero a su vez el registro en la época media del caudal teniendo una concentración de 17 000 mg/l, lo que nos indica una disminución paulatina de la concentración en ese punto.

Dentro de los parámetros evaluados se pudo evidenciar el incremento desmedido del 2 elemento, así es el caso de nitritos ( $\text{NO}_3^-$ ) con 7.9 mg/L en la época alta del caudal y de 36.5 mg/l en la época baja del caudal o de estiaje por lo que se recomienda estar al pendiente con este parámetro en posteriores monitoreos.

#### **4.3.2. PUNTO DE MONITOREO DE AGUA: PUENTE INDEPENDENCIA (3 ÉPOCAS)**

En el punto de monitoreo Puente Independencia, los resultados mostraron un comportamiento estacional similar al observado en Puente Maravillas, con incrementos significativos de ciertos parámetros durante la época de estiaje. El arsénico (As) alcanzó una concentración de 0,1168 mg/L en la época baja del caudal, superando los límites establecidos por la normativa ambiental, mientras que en la época alta su concentración fue inferior al límite de concentración ( $<0,0012$  mg/L).

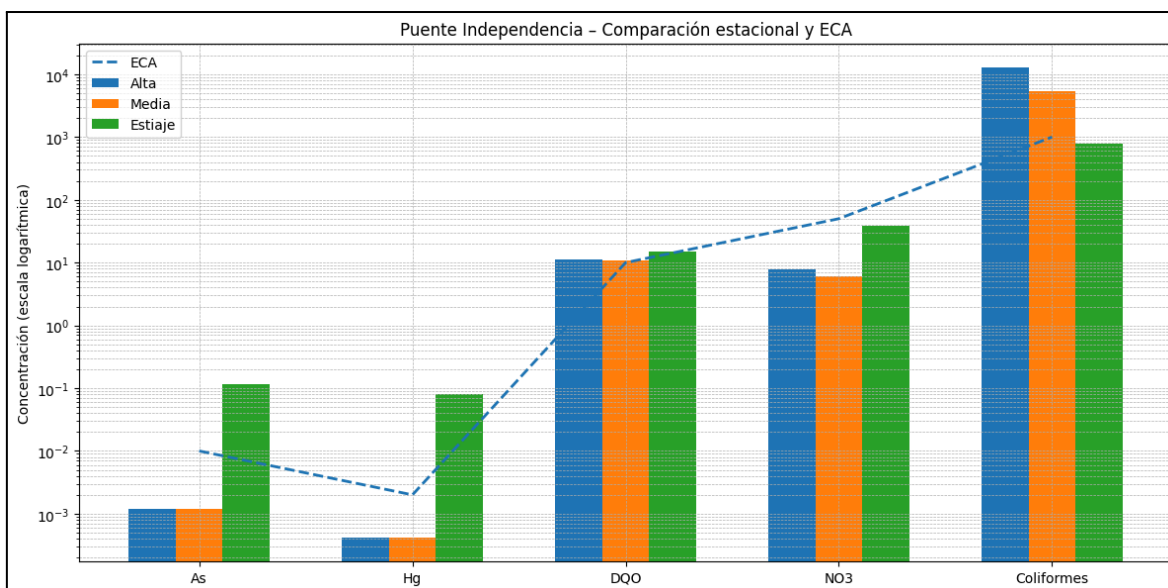
El mercurio (Hg) presentó su mayor concentración durante la época de estiaje (0,07991 mg/L), en contraste con la época alta, donde se registró una concentración inferior a  $<0,00041$  mg/L, demostrando de nuevo el impacto del caudal en la concentración de contaminantes.

Asimismo, se registró un incumplimiento de los ECA para aceites y grasas durante el periodo de estiaje, con una concentración de 0,6 mg/L, atribuida a actividades antrópicas cercanas al punto de monitoreo. La  $\text{DBO}_5$  presentó un valor de 5 mg/L en la misma época, mientras que la DQO superó los ECA tanto en la época alta (11,2 mg/L) como el periodo de estiaje (15,2 mg/L), siendo esta última la de mayor impacto.

**Tabla 20:** Comparativa de parámetros y resultados de la estación de control de calidad del agua en el puente independencia

Parámetro	Época alta	Época media	Época baja (estiaje)	Interpretación
Aceites y grasas (mg/L)	<0.32	<0.32	0.6	Excede ECA en estiaje; contaminación puntual.
DBO-5 (mg/L)	2	2	5	Incremento en estiaje por carga orgánica.
DQO (mg/L)	11.2	10.7	15.2	Excede ECA en época alta y estiaje.
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.5	6.7	8.8	Buen nivel de oxigenación.
Sulfatos (mg/L)	23.7	24.1	84.3	Incremento estacional sin riesgo ambiental.
Cianuro total (mg/L)	<0.005	–	<0.005	No representa riesgo.
Amonio (mg/L)	0.416	0.567	0.876	Incremento en estiaje.
Nitratos (mg/L)	7.79	6.08	37.9	Elevado en estiaje.

Parámetro	Época alta	Época media	Época baja (estiaje)	Interpretación
Nitritos (mg/L)	0.007	0.015	<0.004	Cumple ECA.
Coliformes totales (NMP/100 mL)	13 000	5 400	790	Disminuye en estiaje, aún no apta para consumo.
Mercurio (mg/L)	<0.00041	–	0.07991	Elevado en estiaje.
Arsénico (mg/L)	<0.0012	–	0.1168	Elevado en estiaje.
Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	65.1	–	223	Incremento progresivo.



En relación con los coliformes totales, la mayor concentración se registró en la época alta del caudal (13 000 NMP/100 mL), disminuyendo notablemente en la época media (5 400 NMP/100 mL) y alcanzando su menor valor en el periodo de estiaje (790 NMP/100 mL), cumpliendo con los ECA en esta última, aun así, aunque se observa una disminución en estiaje el valor continúa superando el ECA, por lo que no cumple con la normativa. Finalmente, los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) presentaron un incremento significativo durante la época de estiaje (37,9 mg/L), en comparación con la época alta (7,79 mg/L), lo que evidenció una acumulación de nutrientes en condiciones de bajo caudal.

#### 4.3.3 PUNTO DE MONITOREO DE AGUA: LAGUNA ESCURI CORIHUATA (3 ÉPOCAS)

En la laguna Escuri Corihuata, los resultados evidenciaron una mayor vulnerabilidad del ecosistema frente a la variabilidad estacional. El parámetro nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) alcanzó una concentración de 81,6 mg/L durante la época de estiaje, superando ampliamente los valores registrados en la época alta (45,0 mg/L), lo que indicó un proceso de concentración de nutrientes durante períodos de bajo nivel hídrico.

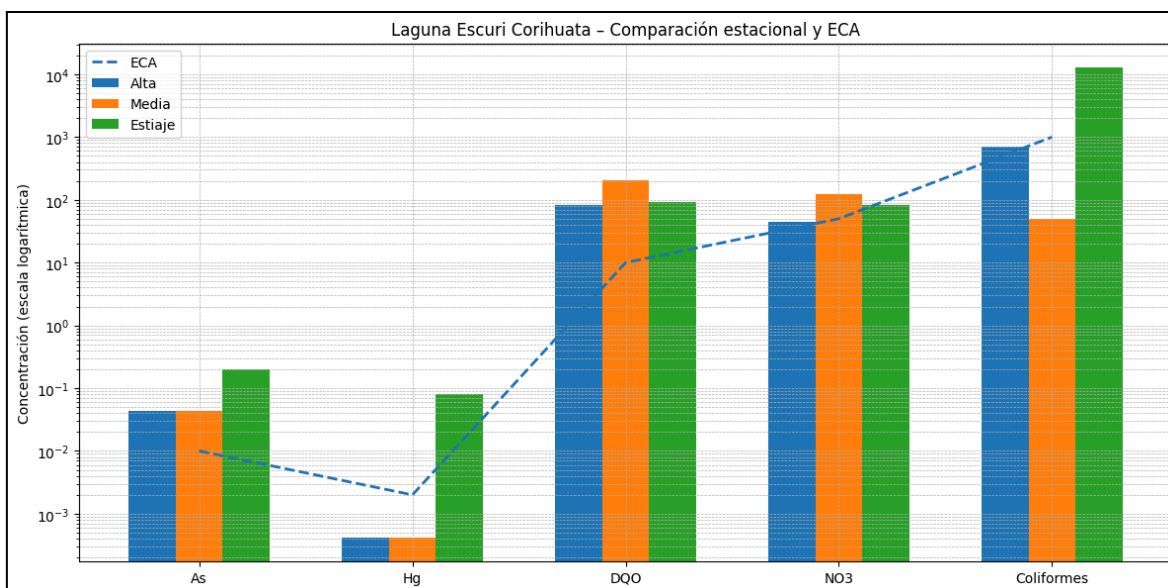
El arsénico (As) presentó su mayor concentración durante el periodo de estiaje (0,2031 mg/L), excediendo notablemente los límites permisibles establecidos por la normativa

ambiental, mientras que en la temporada de lluvias su nivel fue considerablemente menor (0,0435 mg/L), manteniéndose dentro de los rangos aceptables. De manera análoga, el mercurio (Hg) alcanzó 0,07995 mg/L en la época de estiaje, en contraste con la temporada de alta pluviosidad, cuando sus niveles se mantuvieron prácticamente indetectables. Por otro lado, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) registró valores elevados durante el estiaje (16,2 mg/L), mientras que la demanda química de oxígeno (DQO) superó los parámetros permitidos en las tres estaciones evaluadas, siendo más crítica durante el periodo de lluvias intermedias, debido a su mayor concentración de materia orgánica (202 mg/L), seguida por la época alta y la de estiaje con valores de 83,9 mg/L y 90,7 mg/L, respectivamente.

**Tabla 21:** Comparativa de parámetros y resultados de la estación de control del agua en la laguna escuri

Parámetro	Época alta	Época media	Época baja (estiaje)	Interpretación
Aceites y grasas (mg/L)	0.4	<0.32	<0.32	No representa riesgo.
DBO-5 (mg/L)	14.4	21.8	16.2	Elevada en todas las épocas.
DQO (mg/L)	83.9	202	90.7	Excede ECA en las tres épocas.
Oxígeno disuelto (mg/L)	11.5	17.3	8.2	Buena oxigenación.
Sulfatos (mg/L)	201.5	473.4	128	Elevado en época media.

Parámetro	Época alta	Época media	Época baja (estiaje)	Interpretación
Cianuro total (mg/L)	<0.005	–	<0.005	Sin riesgo.
Amonio (mg/L)	0.509	0.566	1.03	Incremento en estiaje.
Nitratos (mg/L)	45	124	81.6	Muy elevados; eutrofización.
Nitritos (mg/L)	0.005	0.004	0.011	Dentro del ECA.
Coliformes totales (NMP/100 mL)	700	49	13 000	Mayor impacto en estiaje.
Mercurio (mg/L)	<0.00041	–	0.07995	Elevado en estiaje.
Arsénico (mg/L)	0.0435	–	0.2031	Muy elevado en estiaje.
Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	248	–	460.7	Agua dura.



Por otro lado, los Coliformes totales registrados con mayor incidencia fue en la época baja del caudal o estiaje con 1 300 NMP/100 mL mientras que en la época alta del caudal fue de 700 NMP/100 mL y con un registro mucho menos en la época media del caudal de 49 NMP/100 mL

#### 4.3.4 COMPARATIVA FINAL

El análisis comparativo de los tres puntos de muestreo del río Coata y la Laguna Escuri durante las épocas alta, media y baja de precipitaciones evidenció variaciones estacionales significativas en parámetros físico-químicos, microbiológicos y de metales pesados, mostrando que la calidad del recurso hídrico está influenciada tanto por la dinámica hidrológica como por actividades antrópicas.

La época de estiaje resultó ser la más crítica, con concentraciones elevadas de metales pesados (arsénico y mercurio), nutrientes nitrogenados y materia orgánica, mientras que la temporada de lluvias mostró incrementos en coliformes totales, DQO y mercurio por arrastre superficial. Parámetros como oxígeno disuelto, sulfatos, cianuro total, nitritos y dureza permanecieron mayormente dentro de rangos aceptables, evidenciando que la oxigenación natural y la composición iónica no se vieron alteradas de manera significativa.

La DBO<sub>5</sub> y la DQO registraron valores elevados, especialmente en la Laguna Escuri, debido a la acumulación de materia orgánica en sistemas de baja renovación, intensificándose durante el estiaje. Los nitratos alcanzaron concentraciones críticas en los tres puntos, generando riesgo de eutrofización, mientras que los nitritos se mantuvieron dentro de límites seguros.

Metales pesados como arsénico y mercurio fueron los factores más restrictivos, superando los estándares en todos los puntos y épocas, con un aumento adicional del mercurio en la época de lluvias por arrastre de sedimentos contaminados. Por su parte, los coliformes totales se mantuvieron elevados, reflejando la presencia constante de fuentes de contaminación doméstica y pecuaria.

En consecuencia, ninguno de los sitios cumple plenamente con los estándares normativos, siendo la Laguna Escuri la más afectada, seguida del Puente Maravillas y el Puente Independencia. La contaminación por metales pesados, materia orgánica y agentes microbiológicos constituye el principal factor limitante del estado del agua en la jurisdicción del distrito de San Miguel, con la época de estiaje como el periodo de mayor riesgo.

#### **4.3.5 DISCUSIÓN: COMPARACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL DEL AGUA SEGÚN LA ESTACIONALIDAD CLIMÁTICA**

El cotejo del estado ambiental del agua del río Coata y la laguna Escuri entre la época alta, media y baja de precipitaciones evidenció una influencia significativa de la estacionalidad climática sobre los parámetros microbiológicos, fisicoquímicos y de metales tóxicos. Estos resultados son consistentes con investigaciones previas que señalan que la variabilidad hidrológica condiciona los procesos de dilución, arrastre y concentración de contaminantes en cuerpos de agua superficiales (Cumbal & Bustamante, 2023; Fábrega, 2022).

Durante la época alta de precipitaciones, se registraron incrementos en coliformes totales, DQO y mercurio, principalmente en los tramos del río Coata, lo cual coincide con lo reportado por Fábrega (2022) y González et al. (2023), quienes atribuyen este comportamiento al arrastre superficial de contaminantes y al ingreso de descargas difusas durante eventos de lluvia intensa. En este periodo, el efecto de dilución permitió que algunos metales, como el arsénico, presentaran concentraciones inferiores a los límites normativos.

Por el contrario, la época de estiaje se identificó como el periodo más crítico para el estado del agua debido a la disminución del caudal y a la limitada la facultad de autodepuración de las masas de agua, especialmente en la laguna Escuri. En esta etapa se registraron las mayores concentraciones de arsénico, mercurio, nitratos y carga orgánica, patrón que concuerda con lo señalado por Brito (2022) y Quispe (2024), quienes reportaron incrementos de metales pesados y nutrientes durante la estación seca en cuencas altoandinas.

La época media presentó un comportamiento intermedio; sin embargo, en algunos parámetros como la DQO y los nitratos se observaron valores elevados, particularmente en la laguna Escuri, lo que coincide con Ortega (2022) y Callasaca (2022), quienes señalan que los procesos de acumulación de nutrientes y sustancia orgánica se intensifican en cuerpos lénticos con baja renovación hídrica.

En conjunto, los resultados del presente estudio confirman lo reportado en antecedentes nacionales y regionales: la estacionalidad hidrológica influye directamente en el estado del agua, siendo la época de estiaje la más crítica, seguida por la temporada media y la alta de precipitaciones. Asimismo, se identifica que la Laguna Escuri es el punto más afectado, seguido del río Coata en el sector Puente Maravillas y, en menor medida, el Puente Independencia, evidenciando impactos persistentes de origen tanto antrópico como natural en la cuenca.

#### **4.4. DISCUSIÓN GENERAL DE LOS RESULTADOS**

El análisis integral de la calidad del agua en el río Coata y la laguna Escuri durante la época de estiaje evidenció un deterioro selectivo del recurso hídrico, caracterizado principalmente por contaminación microbiológica, presencia de metales pesados y acumulación de materia orgánica, mientras que parámetros fisicoquímicos como oxígeno disuelto, nitritos y sulfatos permanecieron dentro de rangos aceptables (Ortega, 2022; Callasaca, 2022).

La caracterización de los parámetros indicó que la laguna Escuri presentó mayor vulnerabilidad frente a la acumulación de compuestos oxidables, mientras que los tramos fluviales del río Coata reflejaron una presión constante de actividades urbanas, agrícolas y pecuarias, evidenciada por elevadas concentraciones de coliformes totales, DBO<sub>5</sub>, DQO, arsénico y mercurio (Fábrega, 2022; Brito, 2022; González et al., 2023).

La comparación estacional mostró que la época de estiaje constituye el periodo más crítico debido a la reducción del caudal, favoreciendo la concentración de contaminantes, mientras que la época alta de precipitaciones generó cierta dilución, salvo en casos de arrastre superficial de materia orgánica, metales y carga microbiológica (Cumbal & Bustamante, 2023).

En conjunto, los resultados confirman que el estado del agua en la jurisdicción del distrito de San Miguel se encuentra condicionado tanto por factores hidrológicos como por presión antrópica persistente, siendo la laguna Escuri el cuerpo de agua más impactado, seguido del Puente Maravillas y el Puente Independencia, lo que implica riesgos potenciales para la salud humana y la sostenibilidad del ecosistema acuático.

#### **4.5. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS**

El presente estudio es de carácter cuantitativo y longitudinal, se evaluó el estado del agua del río Coata y la laguna Escuri mediante la comparación de los resultados obtenidos en campo con los límites establecidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM

En este contexto, la prueba de hipótesis no se sustenta en pruebas estadísticas inferenciales, sino en un contraste normativo y técnico, ampliamente aceptado en estudios de calidad ambiental, donde la hipótesis se acepta o se rechaza en función del cumplimiento o incumplimiento de los criterios normativos.

#### **4.5.1. PRUEBA DE LA HIPÓTESIS GENERAL**

##### **Hipótesis general ( $H_1$ ):**

El estado de la calidad ambiental del agua del río Coata y la laguna Escuri durante la época de estiaje no cumple con los valores establecidos en las categorías 1, 3 y 4 del Estándar de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N.° 004-2017-MINAM).

##### **Hipótesis nula ( $H_0$ ):**

El estado ambiental del agua del río Coata y de la laguna Escuri, en la jurisdicción del distrito de San Miguel, durante la época de estiaje evidencia el cumplimiento de los valores de referencia establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para agua vigentes

##### **Contraste de la hipótesis general**

La verificación de la hipótesis general se realizó mediante la comparación directa de los resultados obtenidos en el seguimiento de los parámetros físicos, químicos y biológicos durante la época de estiaje con los límites máximos permisibles definidos por el Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM, teniendo en cuenta la categoría específica de cada cuerpo de agua.

##### **Criterio de decisión:**

- ★ Si uno o más parámetros evaluados superan los ECA → se acepta  $H_1$  y se rechaza  $H_0$ .
- ★ Si todos los parámetros cumplen los ECA → se acepta  $H_0$ .

##### **Los resultados evidencian que, durante la época de estiaje:**

- ❖ Las concentraciones de coliformes totales superan ampliamente los ECA en:

- Puente Independencia (790 NMP/100 mL > 50 NMP/100 mL).
- Puente Maravillas.
- Laguna Escuri ( $13 \times 10^2$  NMP/100 mL > 50 NMP/100 mL).
- ❖ Se registran concentraciones elevadas de arsénico (As) y mercurio (Hg) que exceden los ECA para aguas destinadas a la producción de agua para consumo humano y conservación del ambiente acuático.
- ❖ Algunos parámetros orgánicos como DBO<sub>5</sub> y DQO presentan valores superiores a los estándares, lo cual evidencia contaminación por materia orgánica.

Estos hallazgos evidencian que el estado del agua en la cuenca estudiada no resulta adecuado ni para consumo del ser humano ni para la conservación del ecosistema acuático, dado que excede los límites máximos permitidos por la normativa ambiental vigente.

#### **Decisión estadística**

✓ La hipótesis nula es desestimada ( $H_0$ )

✓ La hipótesis general se considera válida ( $H_1$ )

#### **Decisión final de la hipótesis general**

Se determina que el estado ambiental del río Coata y de la laguna Escuri, en la jurisdicción del distrito de San Miguel durante la época de estiaje, no cumple con los valores de referencia establecidos por la normativa nacional para cuerpos de agua, corroborando así la hipótesis general planteada.

#### **4.5.2. PRUEBA DE LA PRIMERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA**

##### **Hipótesis específica 1 ( $H_1$ ):**

Los parámetros evaluados en el río Coata y la laguna Escuri, durante la época de estiaje en el distrito de San Miguel, excede los valores establecidos en las categorías 1, 3 y 4 del Estándar de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N.° 004-2017-MINAM).

### **Hipótesis nula ( $H_0$ ):**

Los parámetros evaluados en el río Coata y la laguna Escuri, durante la época de estiaje en el distrito de San Miguel, si cumplen con los valores establecidos en las categorías 1, 3 y 4 del Estándar de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N.° 004-2017-MINAM).

### **Contraste de la hipótesis específica 1**

Mediante la aplicación de las directrices oficiales para el monitoreo de cuerpos de agua superficial, se evaluaron doce parámetros en los puntos de muestreo del río Coata y la laguna Escuri durante la época de estiaje, lo que permitió identificar los incumplimientos respecto a los estándares de referencia y determinar los principales factores que afectan la calidad del recurso hídrico.

### **Criterio de decisión:**

- ★ Incumplimiento de al menos un parámetro regulado → se acepta  $H_1$ .
- ★ Cumplimiento total de los parámetros → se acepta  $H_0$ .

### **Los resultados muestran que:**

- Los parámetros biológicos (coliformes totales) exceden los ECA en todos los puntos evaluados.
- Los metales pesados (arsénico y mercurio) superan los límites permisibles en determinados puntos.
- La presencia de altas cargas orgánicas ( $DBO_5$  y DQO) evidencia descargas de aguas residuales domésticas.

Dichos incumplimientos confirman que el agua evaluada no cumple con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente, aun cuando otros parámetros se mantengan dentro de los límites.

### **Decisión estadística**

- ✓ La hipótesis nula es desestimada ( $H_0$ )
- ✓ La hipótesis específica 1 se considera válida ( $H_1$ )

## **Decisión final**

Los parámetros evaluados en el río Coata y la laguna Escuri, durante la época de estiaje en el distrito de San Miguel, excede los valores establecidos en las categorías 1, 3 y 4 del Estándar de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N.° 004-2017-MINAM). validando la primera hipótesis específica.

### **4.5.3. PRUEBA DE LA SEGUNDA HIPÓTESIS ESPECÍFICA**

#### **Hipótesis específica 2 ( $H_1$ ):**

Se presentan variaciones en el estado ambiental del agua del río Coata y la laguna Escuri al comparar los resultados obtenidos durante la época de estiaje con las épocas media y alta de precipitaciones

#### **Hipótesis nula ( $H_0$ ):**

No se presentan variaciones en el estado ambiental del agua del río Coata y la laguna Escuri al comparar los resultados obtenidos durante la época de estiaje con las épocas media y alta de precipitaciones

#### **Criterio de decisión:**

- ★ Variación sustancial de las concentraciones de los parámetros entre épocas → se acepta  $H_1$ .
- ★ Comportamiento homogéneo sin variaciones relevantes → se acepta  $H_0$ .

#### **Contraste de la hipótesis específica 2**

La comparación de resultados entre las tres épocas hidrológicas (alta, media y baja) evidencia variaciones notorias en las concentraciones de los parámetros evaluados:

- ★ En el río Coata, las mayores concentraciones de arsénico, mercurio y DQO se presentan principalmente en época de estiaje, debido a la menor dilución del caudal.
- ★ En época de lluvias, algunos parámetros disminuyen por efecto de la dilución pluvial, aunque los coliformes totales presentan incrementos asociados al arrastre de contaminantes.

★ En la laguna Escuri, al ser un cuerpo de agua endorreico, los coliformes totales alcanzan su mayor concentración en época de estiaje.

Estas variaciones confirman diferencias sustanciales en el estado del agua según la época evaluada.

#### **Decisión estadística**

✓ La hipótesis nula es desestimada ( $H_0$ )

✓ La hipótesis específica 2 se considera válida ( $H_1$ )

#### **Decisión final**

Se presentan variaciones en el estado ambiental del agua del río Coata y la laguna Escuri al comparar los resultados obtenidos durante la época de estiaje con las épocas media y alta de precipitaciones. Validándose la segunda hipótesis específica.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** La evaluación del estado del agua del río Coata y la laguna Escuri, en la jurisdicción del distrito de San Miguel durante la época de estiaje de 2025, En función del cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N.º 004-2017-MINAM), categorías 1, 3 y 4, se determinó que el estado de la calidad ambiental del agua superficial del río Coata y la laguna Escuri, durante la época de estiaje en la jurisdicción del distrito de San Miguel, no cumple de manera integral con los valores normativos establecidos. Se evidenció el incumplimiento en parámetros como aceites y grasas (0.6 mg/L), DBO<sub>5</sub> (5 mg/L), DQO (15.2 mg/L), arsénico (hasta 0.2031 mg/L) y mercurio (hasta 0.07995 mg/L), así como concentraciones elevadas de coliformes totales, superando ampliamente los límites permisibles. En consecuencia, se confirma que la calidad ambiental del agua presenta un nivel de deterioro significativo durante la época de estiaje.

**SEGUNDA:** La determinación de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de metales tóxicos evaluados durante la época de estiaje, permitió identificar que algunos parámetros se mantuvieron en el marco de los estándares establecidos, como el oxígeno disuelto (entre 8.2 y 9.8 mg/L), sulfatos, cianuro total, amonio y dureza, evidenciando que no existieron condiciones de hipoxia ni toxicidad aguda por estos componentes. No obstante, se registraron niveles elevados de coliformes totales, alcanzando  $49 \times 10^3$  NMP/100 mL en el Puente Maravillas y hasta  $22 \times 10^2$  NMP/100 mL en época de estiaje

así como los metales pesados como arsénico y mercurio, evidenciando contaminación de origen antrópico asociada a descargas domésticas y actividades pecuarias. Estos resultados indican que, aunque ciertos parámetros cumplen con la normativa, la carga orgánica, microbiológica y metálica compromete el estado ambiental del recurso hídrico.

**TERCERA:** La comparación de los resultados obtenidos durante la época de estiaje con los correspondientes a la época media y época alta de precipitaciones evidenció diferencias estacionales en la calidad ambiental del agua. Durante la época de estiaje se registraron las mayores concentraciones de contaminantes, como nitratos con valores de hasta 37.9 mg/L en el Puente Independencia y 81.6 mg/L en la Laguna Escuri), DQO y algunos metales pesados, asociadas a la reducción del caudal y menor capacidad de dilución. En la época alta de precipitaciones se observó una disminución de ciertos parámetros por efecto de dilución; sin embargo, se presentaron incrementos puntuales de mercurio y coliformes totales, atribuibles al arrastre superficial de contaminantes. En consecuencia, se determinó que la época de estiaje constituye el periodo de mayor vulnerabilidad ambiental en la jurisdicción evaluada.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Se recomienda a la Municipalidad Distrital de San Miguel, en coordinación con la Autoridad Nacional del Agua (ANA), la Autoridad Administrativa del Agua Titicaca y el Gobierno Regional de Puno, adopte acciones inmediatas de control, mitigación y supervisión de las principales fuentes de contaminación del río Coata y la laguna Escuri. Se recomienda enfocar los esfuerzos en los puntos críticos de monitoreo, tales como el Puente Independencia, Puente Maravillas y la Laguna Escuri Corihuata. Esta medida se fundamenta en los resultados obtenidos, que evidenciaron el incumplimiento de los límites permisibles establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, debido a concentraciones elevadas de aceites y grasas, DBO<sub>5</sub>, DQO, arsénico y mercurio durante la época de estiaje, afectando de manera significativa el estado del agua y la integridad del ecosistema acuático, la calidad ambiental del recurso hídrico y el equilibrio del ecosistema acuático.

**SEGUNDA:** Se recomienda a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y a las entidades responsables del monitoreo ambiental fortalecer y mantener un programa permanente y sistemático de monitoreo del estado del agua, aplicando de manera estricta la Norma Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial. Dicho programa debe enfatizar el seguimiento de los parámetros que superaron los Estándares de Calidad Ambiental, tales como arsénico, mercurio, DBO<sub>5</sub>, DQO, aceites y grasas y coliformes totales, incrementando la frecuencia de muestreo durante la época de estiaje. Esta recomendación se fundamenta en que los resultados demostraron que dicho periodo

presentó las mayores concentraciones de contaminantes, asociadas a la reducción del caudal y a la limitada capacidad de dilución del cuerpo de agua.

**TERCERA:** Se recomienda al Ministerio del Ambiente (MINAM), al Gobierno Regional de Puno y a las municipalidades locales incorporar de manera obligatoria la variabilidad estacional (época alta, media y baja de precipitaciones) como criterio técnico en la gestión, evaluación y toma de decisiones relacionadas con la calidad del agua del río Coata y la laguna Escuri. Esta recomendación se sustenta en los resultados que evidenciaron que la época de estiaje constituye el periodo de mayor vulnerabilidad ambiental por concentración de contaminantes, mientras que en la época de lluvias se incrementa el arrastre superficial de contaminantes, como mercurio y coliformes totales. En ese sentido, se sugiere diseñar estrategias de gestión ambiental diferenciadas y específicas para cada periodo hidrológico, orientadas a la prevención, control y recuperación progresiva de los cuerpos de agua evaluados.

## BIBLIOGRAFÍA

- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2022). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (24th ed.). APHA Press.  
<https://secure.apha.org/imis/ItemDetail?iProductCode=978-087553-2998&CATEGORY=BK>
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. ANA.  
<https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>
- Autoridad Nacional del Agua. (2020). *PROTOCOLO NACIONAL PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES*. ANA..  
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales>
- Brito Tucto, M. A. (2022). Evaluación de la contaminación por metales pesados del Río Cuchipamba, Morona Santiago. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 7(7), 1987-2013.
- Callasaca-Pacheco, R.-A. (2022). *Variación de la calidad del agua del río Coata según el Ica-Perú por fuentes contaminantes* Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/9434>
- Carhuaricra Rivera, M. G. (2024). *Evaluación de la calidad del agua como parte del control y protección ambiental de la U.E.A. Breapampa – Provincia de Parinacochas – Ayacucho – 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3985>
- Chapman, D. V. (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2nd ed.). Taylor & Francis.

- Chávez Araujo et al. (2022). *Determinación de la calidad del agua de consumo humano mediante parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la ciudad de Huancavelica*. <https://revistas.unh.edu.pe/index.php/rcsxxi/article/view/191/292>
- Cumbal Imbaquingo, F. M., y Ordoñez Bustamante, B. J. (2023). *Determinación de la calidad de agua mediante parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la microcuenca Sicalpa, cantón Colta* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10579>
- Dirección General de Salud Ambiental. (2010). *Protocolo de procedimientos para la toma de muestras de agua para consumo humano*. DIGESA. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/informes-publicaciones/321938-procedimiento-para-la-recepcion-de-muestras-de-alimentos-y-bebidas-de-consumo-humano-en-el-laboratorio-de-control-ambiental-de-la-direccion-general-de-salud-ambiental-del-minsa-d-s-n-032-minsa-digesa-v-01>
- Fábrega, J. (2022). Contaminación por coliformes y evaluación fisicoquímica del agua en las cercanías de la desembocadura del río Mariato, Veraguas, Panamá. *Revista Colegiada de Ciencia*. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/revcolciencia/article/view/2855>
- Gleick, P. H., y Cooley, H. (2021). Freshwater Scarcity. *Annual Review of Environment and Resources*, 46(Volume 46, 2021), 319-348. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-101319>
- Gonzales Saenz, Lume, L. M. A., Palacios, J. C. P., Sánchez Araujo, V. G., Coica, F. A. Q., & Pallares, R. M. (2023). Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en seis comunidades rurales altoandinas de Huancavelica-Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas – Journal of High Andean Research*, 25(1), 23–31.. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.486>

Marinero Orantes, E. A., Vargas Cañas, J. I, y Geles Roffe, T. (2015). *El agua como recurso esencial para la vida y el cual hay que garantizar su sostenibilidad ante la adversidad del cambio climático | Revista iberoamericana de bioeconomía y cambio climático*. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v1i2.2482>

Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery*. McGraw-Hill Education  
<https://www.mheducation.com/highered/product/wastewater-engineering-treatment-and-resource-recovery-metcalf-and-eddy.html?viewOption=student>

Ministerio de Salud. (2011). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano (D.S. N.° 031-2010-SA)*. MINSA.  
[https://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento\\_Calidad\\_Agua.pdf](https://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf)

Ministerio del Ambiente. (2017). *Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua*. MINAM.  
<https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>

Ñahui, D. (2023). *Análisis de la calidad de agua para el consumo humano de los centros poblados del distrito de Yauli, Huancavelica—2023*. [Tesis de licenciatura, Universidad Continental].  
<https://repositorio.continental.edu.pe/item/0ff6d434-51f4-4bea-9660-87824764a18e>

Ocola Salazar, Juan José y Laqui Vilca, Wilber Fermín. (2017). *Fuentes contaminantes en la cuenca del lago Titicaca: Un aporte al conocimiento de las causas que amenazan la calidad del agua del maravilloso lago Titicaca*. Alicia Concytec.  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/ANAI\\_f918a85fa0a0e9e9aab97e1033ce4879](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/ANAI_f918a85fa0a0e9e9aab97e1033ce4879)

- OECD. (2021). *Water governance in Peru* | OECD Publishing. [https://www.oecd.org/en/publications/water-governance-in-peru\\_568847b5-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/water-governance-in-peru_568847b5-en.html)
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *Organización Mundial de la Salud. (2017). Guidelines for drinking-water quality (4th ed., incorporating the 1st addendum). World Health Organization.* <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
- Organización Mundial de la Salud. (2022). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda.* <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>
- Ortega Olvea, P. E. (2023). *Evaluación de la calidad del río Torococha aplicando la metodología ICARHSs en el distrito de Juliaca provincia de San Román y departamento de Puno—2023.* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://hdl.handle.net/20.500.12819/2176>
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2012). *Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: El agua en un mundo en constante cambio.* UNESCO. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374903\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374903_spa)
- Quispe Yana, D. A. (2024). *Evaluación de la calidad de agua subterránea para consumo humano en la comunidad Carata, distrito de Coata* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Agricultura La Molina]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/21845>
- Ramírez-Gonzalez, S., Jiménez-Prieto, Y., Esperanza-Pérez, G., Ribalta-Quesada, J. A., & Rodríguez-Rivero, R. A. (2017). Determinación de arsénico por el método del azul de molibdeno en muestras de aguas de una planta de procesamiento de minerales auríferos. *Revista Cubana de Química*, 29(1), 3–12. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10150446>

- Rivera Gironas, N., Garnica Gonzalez, C. A., Salvatierra Terrazas, B. I., Villafuerte Philipsborn, L., y Afnan Agramont Akiyama. (2024). Contaminación hídrica y derecho a la seguridad alimentaria de comunidades indígenas andino-bolivianas del Titicaca en la cuenca Katari. *Revista Economía y Política*, (39), 136-158. <https://doi.org/10.25097/rep.n39.2024.08>
- Smedley, P. L., & Kinniburgh, D. G. (2002). *A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Applied Geochemistry*, 17(5), 517–568. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00018-5)
- Vargas, H. S. H., Garay, A. T., y Figueroa, K. G. M. (2025). Evaluación y monitoreo de los parámetros físico-químicos y microbiológicos en el agua potable de las localidades de Ocana y Pichiurca, Distrito de Luricocha, Huanta. *Revista de Investigación Científica de la UNF – Aypate*, 4(1), 50-66. <https://doi.org/10.57063/ricay.v4i1.150>

## ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES INDEPENDIENTES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>G</b> ¿Cuál es el estado de la calidad ambiental del agua superficial del río Coata y la laguna durante la época de estiaje en el distrito de San Miguel, en relación con el cumplimiento de los parámetros establecidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM para las categorías 1, 3 y 4?</p>	<p>Evaluar el estado ambiental del agua del río Coata y la laguna Escuri en la jurisdicción del distrito de San Miguel durante la época de estiaje, con base en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM</p>	<p>El estado ambiental del agua del río Coata y de la laguna Escuri, en la jurisdicción del distrito de San Miguel, durante la época de estiaje evidencia el incumplimiento de los valores de referencia establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para agua vigentes</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE E:</p> <p>Condición Hidrológico – Época de Estiaje</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>1. Época de Estiaje</p> <p>2. Estacionalidad Climática</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>1. Nivel del caudal</p> <p>2. Disminución del volumen del agua</p> <p>3. Ausencia o baja intensidad de precipitaciones</p> <p>4. Variación temporal del caudal</p>	<p>ENFOQUE CUANTITATIVO</p> <p>ALCANCE DESCRIPTIVO</p> <p>CORRELACIONAL</p> <p>EXPLICATIVO</p> <p>DISEÑO NO EXPERIMENTAL</p> <p>TRANSVERSAL</p> <p>CORRELACIONAL</p> <p>MÉTODO ANALÍTICO</p> <p>SISTÉMICO</p>

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>¿Los parámetros evaluados del río Coata y la laguna Escuri cumplen los lineamientos oficiales de monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial para el estado ambiental del agua en la jurisdicción del distrito de San Miguel durante la época de estiaje?</p>	<p>Determinar el comportamiento de los parámetros evaluados del río Coata y la laguna Escuri en época de estiaje, aplicando los lineamientos oficiales de monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial, en la jurisdicción del distrito de San Miguel</p>	<p>Los parámetros evaluados del río Coata y la laguna Escuri, durante la época de estiaje en la jurisdicción del distrito de San Miguel, presentan valores que exceden los límites establecidos por la normativa ambiental vigente, según los lineamientos oficiales para el seguimiento de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE:  CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE: 1. parámetros físico-químicos 2. parámetros microbiológicos</p>	<p>5. Periodo seco 6. Temperatura ambiental 7. Precipitación mínima mas VARIABLE DEPENDIENTE: 1. Ph 2. Oxígeno disuelto (OD) 3. Demanda bioquímica de oxígeno 4. Demanda química de oxígeno 5. Nitratos 6. Nitritos 7. Amonio 8. Sulfatos 9. Dureza total 10. Aceites y grasas 11. Arsénico 12. Mercurio 13. Coliformes totales</p>	

	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<b>E S P E C Í F I C O 0 2</b>	¿EXISTEN DIFERENCIAS EN EL ESTADO AMBIENTAL DEL AGUA ENTRE LA ÉPOCA DE ESTIAJE, ÉPOCA DE ESTIAJE, ÉPOCA MEDIA Y ÉPOCA ALTA DE PRECIPITACIONES (ESTACIONALIDAD CLIMÁTICA) EN EL RÍO COATA Y LA LAGUNA ESCURI EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, 2025?	COMPARAR EL ESTADO AMBIENTAL DEL AGUA ENTRE LA ÉPOCA DE ESTIAJE, ÉPOCA MEDIA Y ÉPOCA ALTA DE PRECIPITACIONES (ESTACIONALIDAD CLIMÁTICA) EN EL RÍO COATA Y LA LAGUNA ESCURI EN LA JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE SAN MIGUEL, 2025	EXISTEN DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS EN EL ESTADO AMBIENTAL DEL AGUA DEL RÍO COATA Y DE LA LAGUNA ESCURI AL COMPARAR LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN REALIZADA EN ÉPOCA DE ESTIAJE (BAJA) CON LOS OBTENIDOS EN LA ÉPOCA MEDIA Y ALTA DE PRECIPITACIONES				

**Anexo 02:** Ficha de recolección de datos

Datos Generales del Muestreo	Descripción
Código del punto de muestreo	_____
Ubicación / Sector	_____
Coordenadas UTM (WGS 84)	Este: _____ Norte: _____ Altitud: _____ m.s.n.m
Fecha	___ / ___ / 2025
Hora	_____
Responsable del muestreo	_____
Condiciones climáticas	Soleado <input type="checkbox"/> Nublado <input type="checkbox"/> Lluvioso <input type="checkbox"/> Ventoso <input type="checkbox"/>
Observaciones del entorno	_____

### Anexo 03: Panel fotográfico



**Figura 02:** Vista General de la Zona de Estudio (Puente Independencia)



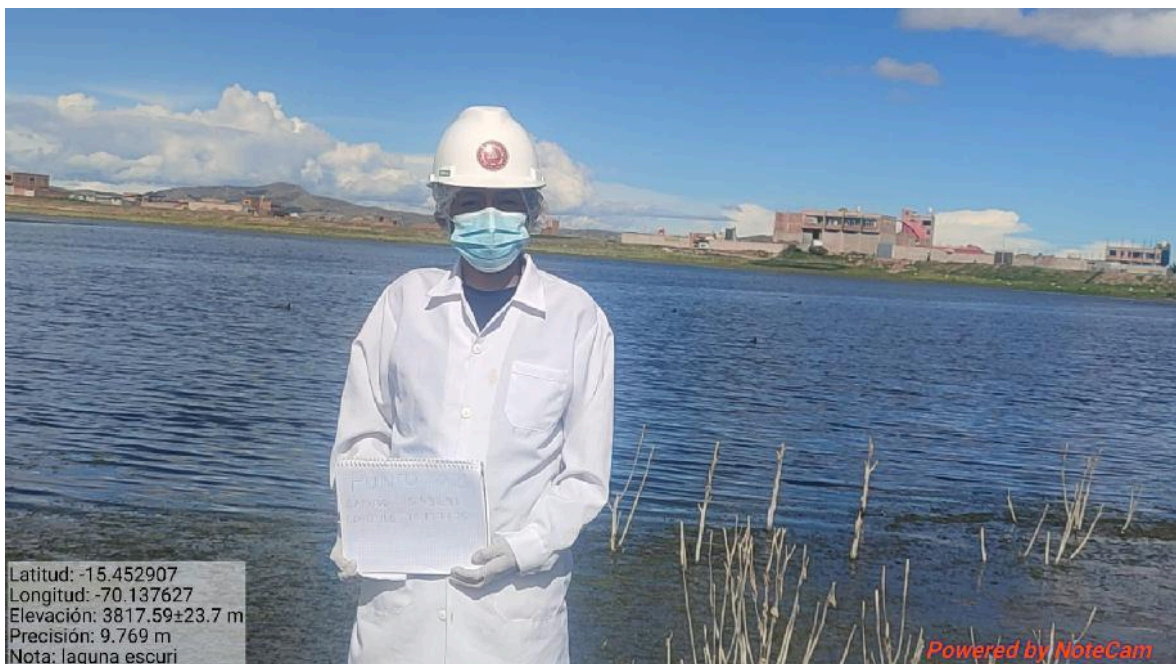
**Figura 03:** Toma de muestra de Agua en el Punto 01 (Puente Independencia)



**Figura 04:** Vista General de la Zona de Estudio ( Puente Rio Maravillas)



**Figura 05:** Toma de muestra de Agua en el Punto 02 (Puente Rio Maravillas)



**Figura 06:** Vista General de la Zona de Estudio (Laguna Escuri)



**Figura 07:** Toma de muestra de Agua en el Punto 03 (Laguna Escuri)



**Figura 08:** Recolección de Muestras de Agua de los puntos 01, 02 y 03



**Figura 09:** Acondicionamiento de las Muestras para su traslado al laboratorio ALAB

## Anexo 04: Resultados de laboratorio



### INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-00945

N°ID: 00052883

#### I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : EDWIN HUMBERTO SUCARI PALOMINO  
 2.-DIRECCION : POR DEFINIR  
 3.-PROYECTO : MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL RÍO COATA Y LAGUNA ESCURI ÉPOCA DE ESTIAJE EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL - SAN ROMÁN - PUNO  
 4.-PROCEDENCIA : CUENCA DEL RIO MARAVILLAS, LAGUNA ESCURI Y PUENTE INDEPENDENCIA - TEMPORADA DE ESTIAJE  
 5.-SOLICITANTE : EDWIN HUMBERTO SUCARI PALOMINO  
 6.-ORDEN DE SERVICIO N° : 000004649-2025-0000  
 7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : NO APLICA  
 8.-MUESTREADO POR : EL CLIENTE  
 9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2025-10-25

#### II. DATOS DE ÍTEMs DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua  
 2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 3  
 3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2025-10-14  
 4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2025-10-14 al 2025-10-25

  
 Liz Y. Quijpe Quispe  
 Jefe de Laboratorio  
 CIP N° 211662

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.  
 No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L.  
 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.

SEDE PRINCIPAL  
 Av. Guardia Chacaca 1877,  
 Bellavista, Calleo P (+511)  
 7179810 / Anexo 112 Cel.:  
 940 588 572  
 www.Alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:  
 Mz. E L:9 DOOPSIDSUR  
 P (+073) 616843  
 Cel.: 932646642  
 www.Alab.com.pe

SEDE PIURA:  
 Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.  
 Miraflores II Etapa - Ref. Costado  
 del colegio San Ignacio de Loyola. P  
 (+073) 542333 Cel.: 919 475 133  
 www.Alab.com.pe

Pág. 1 de 6



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 006



Registro N° LE - 006

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-00945

N° ID: 00052863

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Coliformos Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23rd Ed. 2017.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Thermotolerant Coliforms and E. coli.
Escherichia Coli (NMP) (†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23rd Ed. 2017.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Thermotolerant Coliforms and E. coli.
Cianuro WAD (†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN <sup>1</sup> I, F, 23 rd Ed. 2017	Weak Acid Dissoluble Cyanide. Cyanide-Selective Electrode Method
Demanda Química de Oxígeno (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno (†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Fluoruro (†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-F <sup>1</sup> C, 23 rd Ed. 2017	Fluoride, Ion-Selective Electrode Method
Aceites y Grasas (†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed. 2017	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Alcalinidad por Bicarbonatos (†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23 rd Ed. 2017	Alkalinity, Titration Method
Detergentes (†)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5540 C, 23 rd Ed. 2017	Surfactants. Anionic Surfactants as MBAS

\*SMEWW<sup>1</sup> : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

† Ensayo acreditado por el IAS

(†) El Ensayo Indicado no ha sido acreditado

SEDE PRINCIPAL  
Av. Guardia Chacabuco 1877,  
Bellavista, Calleo P (+511)  
7175810 / Anexo L12 Cel:  
940 588 572  
www.Alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:  
Mz. E Lt.9 COOP SIDUSUR  
P (+073) 616843  
Cel.: 992646642  
www.Alab.com.pe

SEDE PIURA:  
Calle Los Ebanos Mz GLT 17 Urb.  
Miraflores II Etapa - Ref. Costado  
del colegio San Ignacio de Loyola. P  
(+073) 542333 Cel.: 919 475 133  
www.Alab.com.pe

Pág 2 de 6



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 006



Registro N° LE - 006

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-00945**

N° ID.: 000052863

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TITULO
Fenol <sup>□</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5530 B, C, 23 rd Ed. 2017	Phenols. Cleanup Procedure. Chloroform Extraction Method
Nitrato <sup>□</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO3- E, 23 rd Ed. 2017	Nitrogen (Nitrate). Colorimetric Method
Nitrato <sup>□</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NO2- B, 23 rd Ed. 2017	Nitrogen (Nitrite). Colorimetric Method
Nitrogeno Total <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 23rd Ed. 2017	Nitrogen (Total). Persulfate Method
Sulfato <sup>□</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-SO42- E, 23 rd Ed. 2017	Sulfate. Turbidimetric Method
Metales Totales ICP-MS <sup>□</sup>	Method 200.8, Revision 5.4 1994. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance: Bi, B, Ca, Ce, Co, Cr, Fe, Ga, Ge, Hf, K, La, Li, Lu, Mg, Na, Nb, P, Rb, S, Sn, Sr, Ta, Te, Tl, W, Yb, Zr), 2021.	Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.

<sup>1</sup>SMEWW<sup>1</sup>: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

<sup>□</sup> El Ensayo indicado no ha sido acreditado

**SEDE PRINCIPAL**  
Av. Guardia Chacaca 1877,  
Bellavista, Calleo P. (-511)  
7175810 / Areco 112 Cel.:  
040 588 512;  
www.Alab.com.pe

**SEDE AREQUIPA:**  
Mz. E Lt. 0 000P SIDSUR  
P (+073) 616843  
Cel.: 932646642  
www.Alab.com.pe

**SEDE PIURA:**  
Calle Los Ebanos Mz G Lt 17 Urb.:  
Miraflores II Etapa - Ref. Costado  
del colegio San Ignacio de Loyola. P  
(+073) 542335 Cel.: 918 475 133  
www.Alab.com.pe

Pág. 3 de 6



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 006



Registro N° LE - 006

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-00945

N° ID.: 000052863

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-25-28301	M-25-28302	M-25-28303
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AS-01	AS-02	AS-03
COORDENADAS:	E:381362.28 N:828987	E:377308.70 N:829288.19	E:377950.57 N:8291258.93
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO:	Agua Superficial de Río	Agua Superficial de Río	Agua Superficial de Río
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA		
FECHA y HORA DE MUESTREO:	14/10/2025 10:15	14/10/2025 10:45	14/10/2025 11:15

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Coliformas Fecales (Termotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	23,0	22,0	13,0
Escherichia Coli (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	23,0	23,0	125,0
Cianuro WAD (*)	mg/L	0,0015	0,0030	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	5,0	2,0	16,20
Fosforo (*)	(mg FL)	0,08	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	0,005	0,010	15,20	6,70	90,70
Acidos y Grasas (*)	mg/L	0,30	0,50	0,60	<0,32	<0,32
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	0,4	2,0	8,80	9,80	8,20
Amonio (*)	mg/L	0,012	0,030	0,676	0,906	1,030
Dureza (*)	mgCaCO3/L	2,00	5,00	223	219	480,70
Nitrato (*)	(mg NO2-L)	0,026	0,066	<0,004	<0,004	0,011
Nitrosos (NO3-N) + Nitrosos (NO2-N) (*)	mg/L	0,050	0,120	37,90	36,50	61,60
Sulfato (*)	mg/L	1,0	2,5	84,30	84,90	128,0
<b>Metales Totales ICP-MS</b>						
Aluminio (*)	mg/L	0,001	0,003	0,1598	0,1785	0,1785
Arsénico (*)	mg/L	0,0002	0,0010	0,1168	0,1299	0,2031
Bario (*)	mg/L	0,00008	0,00030	0,0398	0,0467	0,0467
Berilio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0006	<0,0006	<0,0006
Boro (*)	mg/L	0,0003	0,0010	0,0632	0,0623	0,0623
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Cobre (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0617	0,0327	0,0327

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(\*) El Ensayo Indicado no ha sido acreditado

‡ Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el  
L.C.M.L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el  
L.D.M.

NA: No Aplica

SEDE PRINCIPAL  
Av. Guardia Chicala 1877,  
Bellavista, Callao 9 (-531)  
7175810 / Anexo 112 Cel:  
940 588 572  
www.Alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:  
Mz. E.L.9 DDOP SIDSUR  
P (+073) 616843  
Cel.: 932646642  
www.Alab.com.pe

SEDE PIURA:  
Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb:  
Miraflores II Etapa - Ref. Costado  
del colegio San Ignacio de Loyola. P  
(+073) 542333 Cel.: 919 475 133  
www.Alab.com.pe

Pág. 4 de 6



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 098



Registro N° LE - 098

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-00945**

N° ID.: 000052883

ITEM	1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-25-28301	M-25-28302	M-25-28303
CÓDIGO DEL CLIENTE:	AS-01	AS-02	AS-03
COORDENADAS:	E:381362.28	E:377306.70	E:377950.57
UTM WGS 84:	N:828087	N:820286.19	N:8201258.03
PRODUCTO:	Agua Natural	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO:	Agua Superficial de Río	Agua Superficial de Río	Agua Superficial de Río
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA		
FECHA y HORA DE MUESTREO:	14/10/2025 10:15	14/10/2025 10:45	14/10/2025 11:15

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS		
Cobalto (*)	mg/L	0,0005	0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Cromo (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,003	<0,003	<0,003
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,002	0,178	0,078	0,078
Litio (*)	mg/L	0,00003	0,00010	0,0321	0,0440	0,0440
Manganeso (*)	mg/L	0,00002	0,00005	0,04986	<0,00005	0,0005
Mercurio (*)	mg/L	0,000033	0,000100	0,07961	0,07747	0,07995
Níquel (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Plomo (*)	mg/L	0,0008	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Selenio (*)	mg/L	0,001	0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Zinc (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0619	<0,002	<0,002

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(\*\*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

(\*) Ensayo acreditado por el IAS.

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

**V. OBSERVACIONES**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

\*FIN DE DOCUMENTO

SEDE PRINCIPAL  
Av. Guardia Chacra 1877,  
Bellevista, Callao P. (-511)  
7175819 / Anexo 112 Cel:  
040 588 572  
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:  
M2, E.U.9 COOP SIDUSUR  
P (+073) 616843  
Cel.: 932646642  
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:  
Calle Los Ébanos Mg G LT 17 Urb.  
Miraflores II Etapa - Ref. Cortado  
del colegio San Ignacio de Loyola. P  
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133  
www.alab.com.pe

Pág. 5 de 6