

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**CALIDAD DEL AGUA DE LAS CAPTACIONES WINCHINTAYANI 01, 02, 03 Y
CHALSAHUAYA EN EL DISTRITO DE CARUMAS - MOQUEGUA 2025**

PRESENTADA POR:

CAROLINA CELINDA MURO CACERES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2025



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



10.22%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 15 MAY 2025, 5:40 PM

Similarity report

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

● IDENTICAL
1.55%

● CHANGED TEXT
8.66%

Report #26407729

CAROLINA CELINDA MURO CACERES // CALIDAD DEL AGUA DE LAS CAPTACIONES WINCHINTAYANI 01, 02, 03 Y CHALSAHUAYA EN EL DISTRITO DE CARUMAS - MOQUEGUA 2025 RESUMEN La presente investigación tiene como objetivo evaluar la calidad del agua de las captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas de la provincia de Mariscal Nieto en el departamento de Moquegua. La investigación tiene un método deductivo con enfoque descriptivo no experimental. Las técnicas utilizadas fueron el análisis documental y el análisis comparativo; los principales instrumentos fueron los informes de monitoreo ambiental y el DS 004-2017-MINAM. La toma de muestras de las 4 captaciones siguió el Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, RJ N° 010-2016-ANA; el análisis fue realizado por un laboratorio certificado por el INACAL, donde se determinaron parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e inorgánicos - metales pesados; posteriormente se comparó con el DS 004-2017-MINAM. Los resultados más resaltantes fueron: la presencia de Escherichia coli en la captación de Winchintayani 02 y formas de vida libre en Wichintayani 01, 02 y Chalsahuaya. Los parámetros fisicoquímicos e inorgánicos de metales pesados se encuentran por debajo de los límites establecidos en el DS 004-2017-MINAM. Se llegó a la conclusión de que el agua de las captaciones Winchintayani 01, 02 y Chalsahuaya del distrito de Carumas no cumple con los

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

**CALIDAD DEL AGUA DE LAS CAPTACIONES WINCHINTAYANI 01, 02, 03 Y
CHALSAHUAYA EN EL DISTRITO DE CARUMAS - MOQUEGUA 2025**

PRESENTADA POR:

CAROLINA CELINDA MURO CACERES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:



Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

PRIMER MIEMBRO

:



Dr. JUAN PASTOR HERRERA CARPIO

SEGUNDO MIEMBRO

:



Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

ASESOR DE TESIS

:



Dr. ESTEBAN ISIDRO LEÓN APAZA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 26 de mayo del 2025.

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen; por estar presente en cada momento de mi vida y darme fortaleza para hacer frente a todo lo que se cruza en mi camino.

A mi padre, por el apoyo incondicional, el amor y las enseñanzas en todo el transcurso de mi vida.

A mi familia, por el amor y la fortaleza que me dan día a día.

AGRADECIMIENTOS

A cada uno de los docentes de la Universidad Privada San Carlos que han sido pilares fundamentales para mi formación académica y profesional.

Al Dr. Juan Pastor Herrera Carpio, con profunda gratitud por su apoyo en cada una de las etapas de mi formación académica.

Al ingeniero Pedro Antonio Ortiz Lino por el apoyo en la ejecución de este proyecto.

A mi asesor, el Dr. Esteban Isidro Leon Apaza, por su compromiso, apoyo y paciencia en el transcurso de la elaboración del presente trabajo de investigación.

A mis jurados: Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda, Dr. Juan Pastor Herrera Carpio, Dra. Marlene Cusi Montesinos por los aportes brindados para hacer posible este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, OBJETO DE ESTUDIO O SOLUCIÓN	14
1.1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2. ANTECEDENTES	16
1.2.1. INTERNACIONALES.	16
1.2.2. NACIONALES	18
1.2.3. LOCALES	21
1.3. OBJETIVOS	24
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	24
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	26
2.1.1. MARCO NORMATIVO	46

2.2. MARCO CONCEPTUAL	47
2.3. HIPÓTESIS	48
2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL:	48
2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:	49
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	50
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	51
3.2.1 POBLACIÓN	51
3.2.2 MUESTRA	52
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	52
3.3.1. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	52
3.3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:	52
3.3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN:	53
3.3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS	53
3.3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	57
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	58
3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	59
CAPÍTULO IV	
EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. RESULTADOS OBTENIDOS RESPECTO AL OBJETIVO ESPECÍFICO	
PRIMERO:	60
4.1.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO	61
4.2. RESULTADOS OBTENIDOS RESPECTO AL OBJETIVO ESPECÍFICO	
SEGUNDO:	73
4.2.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	74
4.3. RESULTADOS OBTENIDOS RESPECTO AL OBJETIVO ESPECÍFICO	
TERCERO:	79

4.3.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS INORGÁNICO: METALES PESADOS	80
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	98
4.5. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	101
CONCLUSIONES	103
RECOMENDACIONES	105
BIBLIOGRAFÍA	107
ANEXOS	120

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Resumen de los parámetros clave de calidad del agua para manantiales naturales	39
Tabla 02: Coordenadas geográficas básicas de ubicación	51
Tabla 03: Coordenadas geográficas de las captaciones de agua	52
Tabla 04: Operacionalización de variables	58
Tabla 05: Resultados del análisis de parámetros fisicoquímicos.	61
Tabla 06: Resultados del análisis de parámetros microbiológicos.	74
Tabla 07: Resultados del análisis de parámetros inorgánicos: metales pesados.	80

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Mapa de localización	50
Figura 02: Mapa de ubicación de la zona de estudio.	51
Figura 03: Resultados del análisis fisicoquímico correspondiente al cianuro total.	62
Figura 04: Resultados del análisis fisicoquímico correspondiente a cloruros.	63
Figura 05: Resultados del análisis fisicoquímico correspondiente al color (b)	64
Figura 06: Resultados del análisis fisicoquímico correspondiente a la conductividad.	65
Figura 07: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente a la dureza.	66
Figura 08: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente a fluoruros.	67
Figura 09: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente a nitratos.	68
Figura 10: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente a nitritos.	69
Figura 11: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente al pH.	70
Figura 12: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente a los sólidos disueltos.	71
Figura 13: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente a sulfatos.	72
Figura 14: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente a la turbidez.	73
Figura 15: Resultados de laboratorio de coliformes termotolerantes.	75
Figura 16: Resultados de laboratorio de coliformes totales.	76
Figura 17: Resultados de laboratorio de Escherichia coli.	77
Figura 18: Resultados de laboratorio de formas parasitarias.	78
Figura 19: Resultados de laboratorio de organismos de vida libre.	79
Figura 20: Resultados de laboratorio de aluminio.	82
Figura 21: Resultados de laboratorio de antimonio.	83
Figura 22: Resultados de laboratorio de arsénico.	84
Figura 23: Resultados de laboratorio de bario.	85

Figura 24: Resultados de laboratorio de boro.	86
Figura 25: Resultados de laboratorio de cadmio.	87
Figura 26: Resultados de laboratorio de cobre.	88
Figura 27: Resultados de laboratorio de cromo.	89
Figura 28: Resultados de laboratorio de hierro.	90
Figura 29: Resultados de laboratorio de manganeso.	91
Figura 30: Resultados de laboratorio de mercurio.	92
Figura 31: Resultados de laboratorio de molibdeno.	93
Figura 32: Resultados de laboratorio de níquel.	94
Figura 33: Resultados de laboratorio de plomo.	95
Figura 34: Resultados de laboratorio de selenio.	96
Figura 35: Resultados de laboratorio de uranio.	97
Figura 36: Resultados de laboratorio de zinc.	98
Figura 37: Toma de muestra de Wichintayani 01	126
Figura 38: Toma de muestra de Wichintayani 01	126
Figura 39: Toma de muestra de Wichantayani 02	127
Figura 30: Toma de muestra de Wichantayani 02	128
Figura 41: Toma de muestra de agua de Wichintayani 03	128

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia: Calidad del agua de las captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya en el distrito de Carumas - Moquegua 2025.	121
Anexo 02: Compromiso ético para trabajos de investigación	122
Anexo 03: Informes de ensayo monitoreo de captaciones de agua	123
Anexo 04: Panel fotográfico	126

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la calidad del agua de las captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas de la provincia de Mariscal Nieto en el departamento de Moquegua. La investigación tiene un método deductivo con enfoque descriptivo no experimental. Las técnicas utilizadas fueron el análisis documental y el análisis comparativo; los principales instrumentos fueron los informes de monitoreo ambiental y el DS 004-2017-MINAM. La toma de muestras de las 4 captaciones siguió el Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, RJ N° 010-2016-ANA; el análisis fue realizado por un laboratorio certificado por el INACAL, donde se determinaron parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e inorgánicos - metales pesados; posteriormente se comparó con el DS 004-2017-MINAM. Los resultados más resaltantes fueron: la presencia de *Escherichia coli* en la captación de Winchintayani 02 y formas de vida libre en Wichintayani 01, 02 y Chalsahuaya. Los parámetros fisicoquímicos e inorgánicos de metales pesados se encuentran por debajo de los límites establecidos en el DS 004-2017-MINAM. Se llegó a la conclusión de que el agua de las captaciones Winchintayani 01, 02 y Chalsahuaya del distrito de Carumas no cumple con los estándares de calidad ambiental según el DS 004-2017-MINAM debido principalmente a incumplimientos en los parámetros microbiológicos; por lo tanto, no es apta para el consumo humano directo. En ese sentido se recomienda implementar un sistema de tratamiento adecuado, como cloración directa, ozonificación o tratamiento UV, así como evaluar la técnica y económicamente la implementación de tratamientos utilizando membranas como la ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa para su potabilización.

Palabras clave: Calidad de agua, Manantiales, Metales pesados, Parámetros fisicoquímicos, Parámetros microbiológicos.

ABSTRACT

This research aims to evaluate the water quality of the Winchintayani 01, 02, 03, and Chalsahuaya water intakes (sources) located in the Carumas district, Mariscal Nieto province, within the Moquegua department. The study employs a deductive method with a descriptive, non-experimental approach. The techniques utilized were document analysis and comparative analysis; the primary instruments included environmental monitoring reports and the Peruvian Environmental Quality Standard for Water (DS 004-2017-MINAM). Sampling from the four intakes adhered to the National Protocol for Monitoring the Quality of Surface Water Resources (RJ N° 010-2016-ANA). Analysis was performed by an INACAL-certified laboratory, determining physicochemical, microbiological, and inorganic parameters, including heavy metals. These results were subsequently compared against the standard above (DS 004-2017-MINAM). Key findings include the presence of *Escherichia coli* in the Winchintayani 02 intake and free-living organisms in the Winchintayani 01, 02, and Chalsahuaya intakes. Physicochemical parameters and heavy metals were found to be below the limits established by DS 004-2017-MINAM. It was concluded that the water from the Winchintayani 01, 02, and Chalsahuaya intakes in the Carumas district does not meet the environmental quality standards according to DS 004-2017-MINAM, primarily due to non-compliance with microbiological parameters. Therefore, the water is not suitable for direct human consumption. Consequently, it is recommended to implement a suitable treatment system, such as direct chlorination, ozonation, or UV treatment. Furthermore, a technical and economic evaluation of implementing membrane treatments—such as ultrafiltration, nanofiltration, and reverse osmosis—for its potabilization is advised.

Keywords: Water quality, Springs, Heavy metals, Physicochemical parameters, Microbiological parameters.

INTRODUCCIÓN

El acceso progresivo y universal al agua potable está contemplado como derecho fundamental en la Constitución Política del Perú. (Juris.pe, 2024). Por desgracia, en el Perú, más de 3 millones de peruanos no cuentan con acceso a fuentes de agua potable y otros 7 millones tienen acceso a agua no potable o de mala calidad (Enriquez, 2023). En ese contexto, es necesario identificar fuentes de agua con las condiciones necesarias para ser utilizadas como fuentes de agua a ser potabilizadas; es así que las captaciones de Wichintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya representan posibles fuentes para el abastecimiento de agua para la población de Carumas. Estas fuentes de agua se ven amenazadas principalmente por actividades antropogénicas (Contreras et al., 2023). Lo que podría derivar en la contaminación del recurso hídrico, configurándose como un problema de salud pública (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017).

En este contexto, en el Perú, mediante el DS 004-2017-MINAM, Estándar de Calidad Ambiental para el agua, se establecen los valores máximos referenciales para parámetros físicos, químicos, microbiológicos, que indican si un cuerpo hídrico presenta o no contaminación y que podría ser utilizada para consumo humano previo tratamiento (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

Los resultados obtenidos en esta investigación orientarán a las autoridades a implementar el proceso más adecuado para su potabilización con el fin de abastecer de una fuente de agua segura a la ciudad de Carumas.

El contenido de este trabajo de investigación es el siguiente:

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

En este capítulo se expondrá la problemática relacionada con la calidad y acceso a las fuentes de agua superficiales; así mismo, se mencionan los trabajos relacionados con la calidad de agua orientados al consumo humano. Finalmente, se presentarán los objetivos del trabajo de investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.

Donde se desarrollan cada una de las teorías relacionadas con las variables en estudio.

Seguidamente se plantean las hipótesis de la investigación.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se detalla la metodología utilizada, las técnicas, instrumentos y herramientas utilizadas para desarrollar la presente investigación.

CAPÍTULO IV: EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Se presentarán los resultados obtenidos en la investigación del estado de la calidad del agua de las captaciones de Wichintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya y si cumplen con los valores referenciales del DS 004-2017-MINAM. Posteriormente se hará la discusión de los resultados obtenidos conforme a los objetivos de la investigación.

Finalmente, se presentarán las conclusiones y recomendaciones derivadas del trabajo de investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, OBJETO DE ESTUDIO O SOLUCIÓN

El agua potable es un recurso básico y el acceso a ella es fundamental para salud y el desarrollo sostenible, conforme a la Organización Mundial de la Salud en el mundo millones de personas no tienen acceso a este recurso tan importante que es el agua potable, entendemos que no solo afecta la salud de cada persona sino que conlleva a problemas sociales y por ende económicos, en el año 2022, aproximadamente 2.000 millones de personas no contaban con acceso de manera segura al uso de agua y 3.600 millones no contaban con servicios de saneamiento seguro y por otro lado vemos que es una situación que sigue empeorando debido al cambio climático y al aumento de la población, un aproximado de 1700 millones de personas acceden a aguas de fuentes contaminadas lo que conlleva a enfermedades como la diarrea e infecciones intestinales. (OMS, 2023a), por lo que cuidar los suministros de agua debería de ser una obligación, ya que aunque casi el 70% del mundo está cubierto por agua, solo el 2,5% es agua dulce y el 1% es agua a la que podemos acceder fácilmente (BANCO MUNDIAL, 2023). En el Perú, en los años 2022 y 2023, en los meses de septiembre y octubre, el 89.1 % de la población accedió al agua mediante red pública, pero sólo el 35 % de los hogares consumió agua con los niveles de cloro adecuados, el cual es un indicador clave de potabilidad. (Instituto Nacional de Estadística del Perú 2023). En las áreas rurales, solo el 3% accede a agua potable con niveles de cloro adecuados, en comparación con el 43,3%

de las áreas urbanas, siendo una situación más crítica (COMEX - Sociedad de Comercio Exterior del Perú, 2024).

El departamento de Moquegua, una ciudad ubicada al sur del Perú de condiciones climáticas áridas, lo mismo que repercute en su limitada disponibilidad del recurso hídrico. Al mismo tiempo, se caracteriza por sus actividades mineras y agrícolas, siendo estas los mayores contaminantes de sus aguas, ya que contribuyen con la posible liberación de metales pesados al ambiente, residuos de pesticidas y fertilizantes, por lo que es de mayor importancia realizar evaluaciones de la calidad del agua para consumo humano. (Gobierno Regional de Moquegua, 2022)

La situación actual del sistema de agua potable en el distrito de Carumas cuenta con conexiones domiciliarias de agua y alcantarillado casi en su totalidad, pero debido a que la obra se ejecutó varios años atrás y no tuvo mantenimiento alguno, los reservorios se encuentran en mal estado. Así mismo, el abastecimiento de agua es insuficiente, por lo que es necesario realizar una evaluación de la calidad de agua de posibles nuevas fuentes de suministro para cumplir con un abastecimiento adecuado de agua a la población.

1.1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

PROBLEMA GENERAL:

- ¿Cuál es la calidad del agua de las captaciones WINCHINTAYANI 01, 02, 03 y CHALSAHUAYA del distrito de Carumas de acuerdo al ECA I del agua DS 004-2017 MINAM?

PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Qué niveles de contaminación físico-química presentan las captaciones de agua Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas?
- ¿Qué niveles de contaminación microbiológica presentan las captaciones de agua de Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas?
- ¿Cuál es la concentración de parámetros inorgánicos de metales pesados del agua de las captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. INTERNACIONALES.

Aguirre (2022), en el estudio "*Calidad del agua en fuentes usadas para consumo humano en 14 comunidades de El Viejo, Chinandega, Nicaragua, 2020*", analizó la seguridad hídrica en zonas rurales mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en 20 fuentes de abastecimiento (12 pozos perforados y 8 excavados manualmente), que suministran agua a 1,496 familias. La investigación, realizada en colaboración con la Universidad Nacional Agraria y la Agencia Católica Irlandesa para el Desarrollo (Trocaire), empleó metodologías estandarizadas como el uso de multímetros HACH para medir propiedades fisicoquímicas (pH, conductividad eléctrica, dureza, salinidad, entre otros) y kits especializados (Phatoscreen y Readycult) para detectar coliformes y *Escherichia coli*. Los resultados revelaron que, aunque el 68% de las fuentes cumplían con los límites fisicoquímicos establecidos por la OMS y la norma CAPRE, se identificaron riesgos críticos: el 75% de las muestras en julio y el 85% en noviembre presentaron contaminación microbiológica por *E. coli*, asociada a enfermedades gastrointestinales, agravada por el arrastre de contaminantes durante las lluvias torrenciales de los huracanes Eta e Iota. Además, se detectaron altos niveles de dureza (>400 mg/L de CaCO₃) y salinidad en pozos cercanos a zonas costeras, vinculados a la intrusión de agua marina y actividades agrícolas. El estudio concluyó que, pese a la calidad fisicoquímica aceptable, la presencia recurrente de patógenos exige intervenciones urgentes, como la implementación de tratamientos domiciliarios (cloración o filtración), la profundización de pozos para evitar contaminantes y la elaboración de Planes de Seguridad del Agua (PSA) adaptados a cada fuente. Esta investigación subraya la necesidad de integrar monitoreo técnico, gestión comunitaria y políticas de prevención para garantizar acceso a agua segura en contextos rurales vulnerables, destacando la interacción entre factores ambientales, prácticas locales y salud pública.

Moreno & Sagñay (2024), en su estudio denominado "Análisis de la calidad del agua para consumo humano en Airón, Chimborazo: enfoque en seguridad microbiológica y

riesgos sanitarios", buscó determinar la idoneidad del agua para su uso doméstico en esta comunidad rural, identificando contaminantes físicos, químicos y biológicos que pudieran afectar la salud pública. La investigación se efectuó a través de muestreos en vertientes naturales, reservorio y viviendas entre octubre y diciembre de 2022. Se emplearon analizadores portátiles (multiparámetros HACH) para medir variables como pH, conductividad y turbidez, mientras que técnicas microbiológicas estandarizadas (NMP, filtración por membrana) detectaron coliformes y patógenos específicos. También se realizó una prueba de resistencia bacteriana a varios antibióticos mediante un antibiograma. Según los resultados, la mayoría de las características físicas y químicas del agua estaban dentro de los márgenes establecidos por la normativa vigente, lo que sugería que el suministro de agua de la comunidad era apto para el uso humano. Por otra parte, se reportaron resultados de varias muestras con niveles significativos de turbidez, fosfatos y hierro, lo que podría indicar la presencia de contaminantes y subrayar la necesidad de una vigilancia continua.

Según la caracterización microbiológica, se descubrieron *Salmonella paratyphi A* y *Escherichia coli*, lo que demuestra que el recurso hídrico es peligroso para su consumo directo mientras estén presentes estos patógenos. Para garantizar un suministro de agua seguro y sano, subraya la importancia de controlar continuamente la calidad del agua de la comunidad, sobre todo en aspectos como la turbidez, los fosfatos y el hierro.

Silvera (2021), mediante su investigación Estudio para determinar la calidad del agua de pozo, mediante los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la comunidad de Miramar, provincia de Colón, tuvo como objetivo determinar la calidad de agua del pozo de Miramar y el Río de Miramar. Se hicieron 3 viajes a Miramar: una visita para aplicar una encuesta y 2 viajes para recolección de muestras de diferentes puntos estratégicos para el análisis del agua de la comunidad. En total se realizaron 12 pruebas a las muestras del agua, las cuales son: pH, temperatura, fosfato, nitrato, turbiedad, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto, DBO, coliformes totales, coliformes fecales, enterococos fecales. Con los resultados obtenidos en el laboratorio, se pudo determinar

el índice de calidad de agua para los puntos como los del río y el Pozo. Evidenciando que la calidad de agua del río es mala y el Pozo es regular. Los resultados obtenidos en las muestras de las casas y la escuela se compararon con la legislación vigente para agua potable, dando un resultado desfavorable, ya que hay evidencia de contaminación microbiológica por la bacteria *E. coli*. Incluso se desarrolló un prototipo de aplicación tipo Android para calcular el índice de calidad del agua por el método sumativo de Brown; este prototipo tiene como objetivo asistir a los investigadores para llevar un registro de los resultados y un orden cronológico de manera más accesible. Se llegó a la conclusión de que el agua que es transportada a la comunidad desde el pozo está contaminada y, por lo tanto, puede causar enfermedades tras su consumo a los habitantes.

1.2.2. NACIONALES

Chipana & Matos (2022), abordaron el estudio sobre calidad de agua para consumo humano y su tratamiento mediante un sistema de filtros en las captaciones de agua, Ancash – Perú, teniendo como objetivo principal evaluar la calidad del agua para consumo humano y su tratamiento mediante un sistema de filtros en las captaciones de agua del distrito de Parobamba, Ancash-Perú. Metodología: En los años 2019 y 2020 se muestrearon 36 captaciones de agua para consumo humano en el distrito de Parobamba. De acuerdo con los resultados de laboratorio, se identificaron los parámetros que superan los límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de calidad de agua. agua. Se implementó un sistema de filtros y lámpara UV para el tratamiento del agua. Resultados: En las captaciones de C1-Quichua, C2-Ocopon y C2-Pilanco II se obtuvo un porcentaje de remoción para concentraciones de coliformes totales mayor de 93%, coliformes, bacterias, organismos fecales y *Escherichia coli* mayores al 85%, bacterias heterotróficas y organismos de vida libre mayor del 99%. En la remoción de turbiedad se obtuvieron valores mayores al 84%, aluminio y hierro mayores al 89% y mercurio mayor al 85%. Conclusiones: Se determinó que el tratamiento de agua para consumo humano con el sistema de filtros múltiples es eficiente en la reducción de los parámetros de calidad, obteniendo valores aptos según el D.S. N° 031-2010-SA.

Chávez (2019), buscó evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas subterráneas destinadas al consumo humano en el distrito de Vicco, provincia y departamento de Pasco. Su estudio se tituló Evaluación de la calidad físico-química y microbiológica de los recursos hídricos subterráneos como fuente de abastecimiento para consumo humano. Los datos químicos fueron analizados en el laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C. acreditado por INACAL, mientras que los parámetros físicos y microbiológicos fueron analizados en el laboratorio de control ambiental de la Dirección Regional de Salud Pasco. Aproximadamente un tercio de los habitantes de la región de Vicco depende de las aguas subterráneas, ya que los sistemas de agua potable y alcantarillado no están bien implantados ni funcionan, y no saben en qué calidad. De manera tradicional, el tamaño de la muestra tuvo en cuenta seis factores, y la metodología del estudio fue no experimental de tipo transeccional. El Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano del D.S. N° 031-2010-SA incluye los límites máximos permisibles (LMP), que fueron comparados con los resultados. También sirve de referencia para el DS 014-2017-MINAM en su subcategoría A1. Como parte del análisis estadístico se utilizaron la desviación estándar, los valores extremos y las pruebas t de Student para una muestra para calcular las medidas de dispersión y tendencia central, respectivamente. Su aptitud para el consumo humano quedó demostrada por los resultados de la prueba de parámetros físicos y químicos; el número total de muestras es inferior a los LMP establecidos en el DS 031-2010-SA, reglamento de calidad del agua para consumo humano. Las cantidades de plomo y níquel en las muestras n° 2 y 3 y n° 4, respectivamente, son algo superiores a los LMP según los resultados de los parámetros metálicos. No hay bacterias coliformes fecales en las muestras n° 1, 2, 3 y 4, según determina el reglamento de calidad del agua para consumo humano. Los resultados de la prueba de parámetros microbiológicos muestran que los coliformes totales superan el LMP en todas las muestras, lo que indica que no son aptas para el consumo humano. Los resultados de coliformes fecales también superan el LMP en las muestras n° 5 y 6.

Hurtado (2021), para determinar la calidad de las aguas en el centro poblado de Quillazu en Oxapampa el año 2016, realizó la evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Utilizó el método observacional, prospectivo, descriptivo y longitudinal. La muestra estuvo conformada por tres fuentes de abastecimiento de agua que suministran a 191 familias, donde se realizó el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a cargo del laboratorio Servicios Analíticos Generales acreditado por el INACAL, los cuales fueron comparados con los estándares de calidad ambiental para agua DS 004-2017-MINAM. Para realizar la prueba de hipótesis se utilizó la prueba estadística T de Student mediante el software SPSS V22. Los parámetros fisicoquímicos cumplen con la exigencia legal vigente; sin embargo, los resultados en los parámetros microbiológicos como las coliformes termotolerantes, coliformes totales, *E. Coli* y organismos de vida libre sobrepasan los valores establecidos en el ECA para agua, por lo que no serían idóneas para el consumo humano directo y necesariamente deben pasar por un proceso de desinfección.

Torres & Pinchi (2023), a través de su investigación Evaluación de calidad de las fuentes de agua de consumo humano que abastecen a las comunidades nativas Santa Rosa, Dulce Gloria y Koshireni, en el distrito de Yurua, Ucayali, 2020, investigaron la calidad de las fuentes de agua superficiales que abastecen de agua a los pueblos indígenas de Koshireni, Santa Rosa y Dulce Gloria, situados en las riberas de los ríos Breu y Yurua. Asimismo, identificaron los sistemas de abastecimiento, características fisicoquímicas, microbiológicas y parasitológicas de las fuentes de agua y con los resultados obtenidos se compararon con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del agua, señalados en el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. La metodología del estudio incluye tanto trabajo de laboratorio como de campo, análisis cualitativo y cuantitativo, e investigación descriptiva y no experimental. Utilizando la metodología planteada en la Norma de Calidad Ambiental del Agua y el protocolo 2015 de procedimientos de muestreo, prevención, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano, se tomaron un total de seis muestras de agua de los ríos Yurúa y Breu

durante las temporadas de vaciante y creciente. Los datos físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos se analizaron calculando una media aritmética. Los resultados obtenidos demostraron que el oxígeno disuelto (> 6 mg/L), color (15 mg/L), demanda química de oxígeno (10 mg/L), turbidez (5 UNT), aluminio (0,9 mg/L), hierro (0,3 mg/L) y manganeso (0,4 mg/L) del agua que consumen los pobladores de las comunidades nativas de Santa Rosa, Dulce Gloria y Koshireni se encuentran por encima de los valores indicados en las Normas de Calidad Ambiental del agua establecidas en el D. S. N° 004-2017-MINAM. Se reporta que los resultados obtenidos del análisis, coliformes totales (50 NMP/100 m) y coliformes termotolerantes (20 NMP/100 m) superan los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental del agua, establecidos en el D. S. N° 004-2017-MINAM. Se concluye que los parámetros microbiológicos son un factor de riesgo para la salud de las poblaciones indígenas de la cuenca del río Yurúa, ya que no satisface los requerimientos físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos para agua potable con desinfección.

1.2.3. LOCALES

Roque (2024), en su trabajo titulado Calidad fisicoquímica y bacteriológica de la fuente de agua de consumo humano del distrito de Santiago de Pupuja, Azángaro - Puno, planteó como objetivo determinar la calidad fisicoquímica y bacteriológica de la fuente de agua de consumo humano. El tipo de estudio fue descriptivo, comparativo y transversal, la metodología utilizada se ciñe a técnicas estandarizadas según (Digesa y OMS); donde se analizaron 27 muestras de agua, tomadas de tres puntos de muestreo (manantial, reservorio y piletas domiciliarias) durante tres meses de estudio, para la determinación de coliformes totales y termotolerantes se utilizó el método número más probable, para los parámetros fisicoquímicos complexometría (dureza), electrometría (pH), conductimetría (conductividad eléctrica), titulación volumétrica (bicarbonatos), colorimétrico (nitratos), fenantrolina (hierro) y turbidimétrico (sulfatos), y los datos obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza y Tukey ($p=0.05$). Resultados: para coliformes totales 12.40 NMP/100ml y 141.00 NMP/100ml, coliformes termotolerantes 3.00 NMP/100ml y 9.77

NMP/100 ml, así mismo los resultados fisicoquímicos fueron dureza 30.00 mg/l y 53.00 mg/l, pH 7.37 y 8.13 unidades, conductividad eléctrica 399.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 649.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$, nitratos 1.00 mg/l y 1.67 mg/l, hierro 0.00 mg/l y sulfatos 208.00 mg/l y 343.33 mg/l, los parámetros coliformes totales, coliformes termotolerantes y sulfatos comparados con el D.S. N° 031-2010-SA superaron los estándares de calidad. Según el análisis de varianza, los parámetros coliformes totales, dureza y sulfatos presentaron diferencia estadística entre los puntos de muestreo. concluyendo que la fuente de agua de consumo humano de Santiago de Pupuja no cumple con los estándares de calidad.

Bonifacio (2023), investigó la calidad de agua para consumo poblacional en Puno, en la localidad de Ocuvi, distrito de Ocuvi, provincia de Lampa-Puno, a fin de determinar los factores relacionados con la calidad y manejo de agua en la población, que generan la persistencia de enfermedades transmitidas por el agua, con la finalidad de proponer medidas y/o estrategias de solución para mitigar este problema. La metodología para el muestreo fue del tipo aleatorio estratificada, considerando un total de 04 fuentes de agua de origen subterráneo, las cuales se analizaron física, química y microbiológicamente. La identificación y evaluación de las prácticas del manejo (almacenamiento, tratamiento y consumo) de agua en los hogares de la zona de estudio fue llevado a cabo mediante una encuesta. Los hallazgos de las pruebas de laboratorio se cotejaron con los "Estándares de Calidad Ambiental para Agua", concluyendo que los valores están dentro de los estándares fijados. Por lo tanto, la calidad del agua en estas cuatro fuentes es adecuada para la producción de agua potable, y necesita de un tratamiento sencillo para ser ingerida sin ningún peligro. Por otro lado, basándose en los resultados de la encuesta realizada, se concluyó que la población carece de conocimiento sobre la calidad, el tratamiento y el almacenamiento del agua. Por lo tanto, basándose en los resultados, se plantea la propuesta de un sistema de tratamiento de agua para el consumo de la población en el hogar.

Huaquisto (2024), investigó sobre la calidad del agua de las captaciones Chichicapac y Jatun Pinaya del distrito de Macusani – Carabaya, 2023, donde buscó evaluar la calidad

de agua de las captaciones según DS N° 031-2010-SA. La metodología utilizada fue del tipo descriptivo, no experimental. Para la toma de muestras se utilizó el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales RJ N° 010-2016-ANA, por lo que se han tomado dos muestras de agua de cada captación en los meses de noviembre y diciembre. En total se analizaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el laboratorio de aguas y suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNA - Puno. Los resultados más resaltantes son los siguientes respecto a la calidad del agua y su comparación con el DS 031-2010-SA, donde se reporta que los valores obtenidos en los parámetros microbiológicos de las capacitaciones de Jatun Pinaya y Chichicapac están por encima de los límites máximos permitidos en la mencionada norma. Como consecuencia de esto último, se concluye que la calidad de agua de las captaciones de Chichicapac y Jatun Pinaya no cumple con el DS 031-2010-SA; por lo tanto, el agua se considera no apta para consumo humano. Se recomienda la implementación de medidas de desinfección mediante la ejecución de proyectos de infraestructura para potabilizar el agua.

Mamani Maron (2024) El objetivo de su estudio fue evaluar la calidad del agua destinada al consumo humano en el Centro Poblado de Corpa, Distrito de Sicuani, durante el año 2023. Dicha evaluación se realizó tomando como referencia los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA de la normativa peruana. La metodología aplicada corresponde a un diseño de investigación no experimental con un enfoque cuantitativo. Se establecieron cuatro puntos de muestreo representativos, incluyendo el reservorio de abastecimiento (P1) y tres domicilios particulares seleccionados mediante muestreo aleatorio (P2, P3, P4). El tratamiento estadístico de los datos consistió en el cálculo de promedios simples y la comparación de los valores obtenidos entre los distintos puntos de muestreo. Los resultados del monitoreo realizado en octubre de 2023 mostraron que los valores promedio de pH (8.10), turbidez (2.22 UNT), conductividad eléctrica (340.75 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y sólidos totales disueltos (162.70 mg/l) se encontraban dentro de los LMP. La temperatura promedio registrada fue de

21.33 °C. Sin embargo, la concentración promedio de cloro residual libre (0.025 mg/l) se halló por debajo del rango estipulado como aceptable (0.5 a 5.0 mg/l), indicando un incumplimiento del LMP para este parámetro. En el monitoreo correspondiente a noviembre de 2023, los niveles promedio de cloro residual (1.99 mg/l), pH (8.23), conductividad eléctrica (386.50 μ S/cm) y sólidos totales disueltos (192.53 mg/l) cumplieron con los LMP. La temperatura promedio fue de 19.48 °C. No obstante, se observó que la turbidez promedio (8.34 UNT) excedió el LMP establecido de 5 UNT. Adicionalmente, se efectuaron análisis bacteriológicos en muestras colectadas en el reservorio (P1) y una de las viviendas (P4) durante los meses de octubre y noviembre. Estos análisis determinaron la ausencia tanto de coliformes totales como de coliformes termotolerantes en todas las muestras examinadas (0 Unidades Formadoras de Colonias por 100 ml), cumpliendo así con los LMP para dichos indicadores microbiológicos. En conclusión, el estudio determinó que el agua evaluada presentó incumplimientos de la normativa vigente en relación con la concentración de cloro residual durante el mes de octubre (niveles inferiores al mínimo requerido) y respecto a los niveles de turbidez durante el mes de noviembre (niveles superiores al máximo permitido).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del agua de las captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e inorgánicos de metales pesados de acuerdo al DS 004-2017-MINAM, “Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias”.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los parámetros físico-químicos presentes en las captaciones de agua de WINCHINTAYANI 01, 02, 03 y CHALSAHUAYA, del distrito de Carumas, según el DS 004-2017-MINAM, “Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias”.

- Evaluar los parámetros microbiológicos presentes en las captaciones de agua de WINCHINTAYANI 01, 02, 03 y CHALSAHUAYA del distrito de Carumas según el DS. 004-2017-MINAM, “Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias”.
- Determinar la concentración de parámetros inorgánicos de metales pesados en las captaciones WINCHINTAYANI 01, 02, 03 y CHALSAHUAYA del distrito de Carumas según el DS 004-2017-MINAM, “Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias”.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

Calidad del agua

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y otros organismos reguladores internacionales como la EPA, la calidad del agua se define fundamentalmente por las condiciones del agua en relación con sus características físicas, químicas y biológicas. Esta definición se aplica universalmente al agua en su estado original y natural, así como al agua que ha sufrido alteraciones debido a las actividades humanas. La evaluación de la calidad del agua, dentro de este marco, generalmente implica un análisis comparativo de estas características con las directrices o normas de calidad del agua establecidas, particularmente aquellas establecidas para el agua destinada al consumo humano. El agua generalmente se considera de calidad aceptable cuando puede utilizarse para su propósito previsto sin representar un riesgo significativo de daño para el usuario (Baeza, 2016). La definición de la OMS enfatiza la visión antropocéntrica de la calidad del agua, centrándose principalmente en su idoneidad para el uso humano, particularmente el consumo. Sin embargo, también reconoce las dimensiones ecológicas más amplias al considerar el estado natural del agua y las alteraciones (Baeza, 2016). Esto sugiere que, si bien la salud humana es una preocupación primordial, la integridad ecológica subyacente también es un factor para determinar la calidad general del agua. Por otra parte, desde un punto de vista más utilitario o funcional, la calidad del agua puede conceptualizarse como la capacidad inherente de una fuente de agua determinada para satisfacer adecuadamente los requisitos específicos dictados por su uso previsto. Esta

perspectiva destaca la naturaleza dependiente del contexto de la calidad del agua, reconociendo que los criterios para lo que constituye "calidad" pueden variar considerablemente dependiendo de si el agua se utilizará para fines domésticos, riego agrícola, actividades recreativas o procesos industriales (Landeró, 2019; Ministerio de Medio Ambiente, 2000). Esta definición funcional enfatiza la relatividad de la calidad del agua, alejándose de una evaluación puramente intrínseca a una que está directamente ligada a las demandas y expectativas específicas asociadas con diferentes aplicaciones (Landeró, 2019; Ministerio de Medio Ambiente, 2000). Esto implica que una fuente de agua considerada de "mala calidad" para un uso podría ser perfectamente aceptable para otro. Las normas de calidad del agua potable son mucho más estrictas que las del agua de refrigeración industrial, por ejemplo. Esta definición subraya la importancia de alinear la evaluación de la calidad del agua con el propósito específico para el que se destina el agua.

En un contexto ecológico, la calidad del agua a menudo se define como el conjunto de condiciones que deben estar presentes dentro de una masa de agua para mantener un ecosistema equilibrado y próspero mientras se cumplen objetivos ambientales específicos. Esta definición pone un fuerte énfasis en las características químicas, físicas y microbiológicas del agua que son esenciales para mantener la salud y la biodiversidad de la vida acuática (Ministerio de Medio Ambiente, 2000; Puente et al., 2023; Roldán, s. f.). Esta perspectiva amplía el enfoque tradicional en los usos humanos para incluir el valor intrínseco y los requisitos funcionales de los entornos acuáticos. Esta definición ecológica prioriza la salud y la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos como el punto de referencia principal para la calidad del agua, reconociendo que la calidad del agua no se trata simplemente de su idoneidad para la explotación humana, sino también de su capacidad para sustentar una comunidad biológica diversa y autosuficiente (Ministerio de Medio Ambiente, 2000; Puente et al., 2023; Roldán, s. f.). Esta perspectiva cambia el enfoque de las necesidades humanas a las necesidades del propio medio ambiente. Considera parámetros como el oxígeno disuelto, el equilibrio de nutrientes y la ausencia

de sustancias tóxicas como críticos para mantener un ecosistema acuático saludable.

Teoría de la Fiabilidad en la Evaluación de la Calidad del Agua: Cada vez más adoptada en el campo de la gestión de los recursos hídricos, la teoría de la fiabilidad proporciona un marco sólido para evaluar la calidad del agua, cuantificando la probabilidad de que los niveles de contaminantes presentes en el agua permanezcan por debajo de los umbrales de seguridad establecidos para los usos designados (Teklitz et al., 2021). Este enfoque reconoce la complejidad inherente y la variabilidad estocástica característica de los sistemas ambientales, lo que permite una evaluación probabilística tanto de la calidad actual del agua como de su sostenibilidad a largo plazo. La aplicación de la teoría de la fiabilidad a la evaluación de la calidad del agua permite un enfoque más matizado y prospectivo para la gestión de riesgos, lo que permite la identificación de áreas críticas dentro de una cuenca y la predicción de posibles eventos de contaminación en lugar de simplemente reaccionar a las superaciones de los límites regulatorios (Teklitz et al., 2021). Este enfoque proactivo es particularmente valioso para gestionar los riesgos potenciales asociados con los manantiales naturales, que pueden ser susceptibles a la contaminación intermitente. Al definir el "fallo" como la superación de las normas de seguridad, la teoría de la fiabilidad permite calcular la probabilidad de que se produzcan tales fallos. Esta perspectiva probabilística ayuda a comprender el nivel de riesgo asociado con el uso de una fuente de agua en particular y a diseñar estrategias de gestión adecuadas para mitigar estos riesgos.

Teoría de la Salud del Agua Urbana (UWH) y su Aplicabilidad a los Manantiales Naturales: Si bien inicialmente se desarrolló con un enfoque en los intrincados sistemas de agua dentro de los entornos urbanos, los principios fundamentales de la teoría de la Salud del Agua Urbana (UWH), que enfatiza la evaluación integrada de la salud del ecosistema y la salud del ciclo del agua, ofrecen una lente valiosa a través de la cual comprender la salud y la calidad general del agua en los manantiales naturales, particularmente aquellos situados cerca o influenciados por asentamientos humanos (He et al., 2023). Este marco integral va más allá de los análisis físicos y químicos

tradicionales para incorporar las dimensiones ecológicas y sociales vitales que contribuyen a la salud holística de un recurso hídrico. El marco UWH promueve una comprensión más holística e integrada de la calidad del agua en los manantiales naturales al considerar las complejas interacciones entre la integridad ecológica (la salud del ecosistema acuático), el ciclo natural del agua (incluidos factores como el flujo y la recarga) y los impactos de las actividades humanas dentro del paisaje circundante (He et al., 2023). Esta perspectiva es crucial para desarrollar estrategias de gestión sostenibles que aborden los múltiples factores que influyen en la calidad del agua de manantial. Esta teoría reconoce que la salud de una masa de agua no está determinada únicamente por la ausencia de contaminantes. También depende de la funcionalidad de los procesos naturales que la sustentan y del equilibrio entre los usos humanos y las necesidades ecológicas. Aplicar este marco a los manantiales naturales permite una evaluación más completa de su condición general.

Teoría La Ley de Conservación de la Energía y la Materia como Principio Fundamental en la Calidad del Agua: En el núcleo de la comprensión de la calidad del agua se encuentra el principio científico fundamental de la Ley de Conservación de la Energía y la Materia. Esta ley postula que dentro de un sistema cerrado, la materia (incluidos los constituyentes naturales y los contaminantes presentes en el agua) no se crea ni se destruye a través de reacciones químicas o transformaciones físicas; simplemente cambia de forma o ubicación (Vammen et al., 2021). Este principio es fundamental para comprender las vías, las transformaciones y el destino final de las sustancias dentro de los entornos acuáticos, lo que influye directamente en cómo percibimos y gestionamos la calidad del agua a lo largo del tiempo. Una comprensión profunda de la Ley de Conservación de la Energía y la Materia es indispensable para rastrear eficazmente los orígenes, las transformaciones y la persistencia a largo plazo de los contaminantes dentro de los sistemas de agua de manantial natural. Destaca la importancia crítica de prevenir la introducción de contaminantes en estos sistemas, ya que estas sustancias permanecerán presentes de alguna forma, acumulándose

potencialmente o sufriendo complejos ciclos biogeoquímicos con impactos duraderos en la calidad del agua (Vammen et al., 2021). Este principio enfatiza que los contaminantes introducidos en un sistema de manantial no desaparecen simplemente. Pueden diluirse, transformarse o secuestrarse en sedimentos, pero la masa total permanece. Esto tiene profundas implicaciones para los esfuerzos de remediación y la necesidad de controlar las fuentes para proteger la calidad del agua a largo plazo.

Características de la Calidad del Agua en Manantiales Naturales

Perfiles Físicoquímicos Distintos: Los manantiales naturales exhiben características físicoquímicas únicas que están determinadas en gran medida por las formaciones geológicas con las que el agua ha interactuado durante su recorrido subterráneo. Estas características abarcan una variedad de parámetros, que incluyen temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), oxígeno disuelto (OD), turbidez (una medida de la claridad del agua), dureza (concentración de calcio y magnesio) y las concentraciones específicas de diversos iones disueltos como calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruro, sulfato y bicarbonato (Abduljabar et al., 2020; Bahous et al., 2024; Chalise et al., 2023; Pokhrel et al., 2025). Estas propiedades colectivamente sirven como una huella dactilar del origen del manantial y pueden indicar tanto las condiciones naturales como la influencia de factores externos. La diversidad geológica inherente en las diferentes ubicaciones de los manantiales conduce a un amplio espectro de perfiles naturales de calidad del agua físicoquímica. Comprender estas características de referencia es crucial para identificar con precisión cualquier desviación que pueda indicar contaminación u otras perturbaciones antropogénicas (Abduljabar et al., 2020; Bahous et al., 2024; Chalise et al., 2023; Pokhrel et al., 2025). La "firma" geológica única de cada manantial influye en su química natural del agua. A medida que el agua subterránea se filtra a través de diferentes tipos de rocas y suelos, disuelve diversos minerales, lo que lleva a distintas composiciones iónicas y propiedades físicoquímicas generales. Reconocer estas variaciones naturales es esencial para diferenciarlas de los cambios causados por la contaminación.

Integridad Microbiológica y Potencial de Contaminación: La seguridad microbiológica es un aspecto crítico de la calidad del agua de manantial, que se refiere a la ausencia o la concentración de microorganismos, particularmente aquellos que se sabe que son patógenos para los humanos. Los indicadores comunes de contaminación microbiológica incluyen la presencia y los niveles de bacterias coliformes fecales (como *Escherichia coli*), coliformes totales y otros patógenos potenciales como virus y protozoos (Berihun et al., 2023; Nadjjet et al., 2024; Nadreen et al., 2024; Pedron et al., 2022). Si bien el proceso de filtración subterránea generalmente contribuye a la pureza del agua de manantial, estas fuentes no son completamente inmunes a la contaminación por escorrentía superficial, actividades humanas y desechos animales. A pesar de los beneficios naturales de filtración asociados con las fuentes de agua subterránea, los manantiales naturales siguen siendo susceptibles a la contaminación microbiológica, particularmente en áreas con acuíferos poco profundos, lecho de roca fracturado o protección inadecuada contra contaminantes superficiales. Por lo tanto, el monitoreo regular de organismos indicadores es esencial para garantizar la seguridad del agua de manantial para el uso humano (Berihun et al., 2023; Nadjjet et al., 2024; Nadreen et al., 2024; Pedron et al., 2022). La presencia de coliformes fecales es un fuerte indicador de posibles riesgos para la salud. La escorrentía de aguas superficiales que contienen materia fecal de humanos o animales puede infiltrarse en el suelo y contaminar el agua subterránea que alimenta los manantiales. Esto es especialmente probable durante fuertes lluvias o en áreas con malas prácticas de saneamiento.

Composición Química Compleja Incluyendo Niveles de Elementos Traza y Nutrientes: La composición química del agua de manantial se extiende más allá de los iones principales para incluir una variedad de elementos traza (como hierro, manganeso, arsénico, plomo, zinc y cobre) y nutrientes (como nitratos y fosfatos). Estos constituyentes pueden originarse de fuentes geológicas naturales, así como de actividades antropogénicas, incluida la escorrentía agrícola, las descargas industriales y la deposición atmosférica (Bahous et al., 2024; Chalise et al., 2023; Colín et al., 2023; Georges et al.,

2020). Las concentraciones de ciertos elementos traza y nutrientes son críticas para monitorear, ya que los niveles elevados pueden representar riesgos tanto para la salud humana como para la salud de los ecosistemas acuáticos. Discernir entre los niveles de elementos traza y nutrientes que ocurren naturalmente y aquellos que resultan de la contaminación humana es un desafío importante en la evaluación de la calidad del agua de manantial. Es necesario un análisis químico exhaustivo para identificar posibles fuentes de contaminación y para evaluar la idoneidad general del agua para sus usos previstos (Georges et al., 2020; León et al., 2022). Algunos elementos, como el arsénico, pueden estar naturalmente elevados debido a las condiciones geológicas locales, mientras que otros, como los nitratos, a menudo indican un impacto humano. Comprender el contexto geológico de un manantial es crucial para interpretar los niveles de productos químicos que ocurren naturalmente. Cualquier aumento significativo en la concentración de ciertas sustancias por encima de estos niveles de fondo puede indicar contaminación antropogénica.

Ventajas de Mantener una Buena Calidad del Agua en Manantiales Naturales

Protección Robusta de la Salud Pública: Mantener un alto nivel de calidad del agua en los manantiales naturales se traduce directamente en un beneficio significativo para la salud pública. Cuando el agua de manantial es consistentemente segura para el consumo humano y otros usos domésticos sin necesidad de un tratamiento extenso, reduce drásticamente la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua y contribuye al bienestar general de las personas y comunidades que dependen de estas fuentes (Century-Foods, 2023; Edwards, 2023; *Making a Difference*, s. f.; OMS, 2023). Esto es particularmente vital para las poblaciones en áreas rurales o remotas donde el acceso a los suministros municipales de agua tratada puede ser limitado o inexistente. La correlación directa entre la calidad del agua de manantial y la salud de las poblaciones que la consumen subraya la importancia primordial de implementar medidas efectivas para proteger estos recursos de la contaminación. La prevención de enfermedades transmitidas por el agua a través de una buena calidad del agua es un aspecto

fundamental de la salud pública y puede tener impactos positivos de gran alcance en el desarrollo y la productividad de la comunidad (Berihun et al., 2023; Mizane et al., 2025; OMS, 2023b; Yeboah et al., 2022). El agua potable segura es un derecho humano básico. Mantener la calidad de los manantiales naturales garantiza que las comunidades que dependen de ellos tengan acceso a este recurso esencial, previniendo una amplia gama de problemas de salud y mejorando su calidad de vida.

Preservación Sostenida de la Integridad Ecológica y la Biodiversidad: Los manantiales naturales con buena calidad del agua proporcionan hábitats estables y adecuados para una diversa gama de flora y fauna acuáticas, incluidas especies que pueden ser endémicas o raras y específicamente adaptadas a las condiciones únicas de estos entornos (Bănăduc et al., 2022; Jung et al., 2024; Stevens et al., 2022). Estos manantiales a menudo funcionan como puntos críticos de biodiversidad dentro de sus paisajes, y mantener su calidad de agua prístina es esencial para la supervivencia y la salud continuas de estos delicados ecosistemas y los servicios ecológicos que brindan. La importancia ecológica de los manantiales naturales, que a menudo sirven como refugios para especies especializadas y únicas, enfatiza el papel crítico del mantenimiento de una alta calidad del agua en los esfuerzos de conservación destinados a preservar la biodiversidad y el patrimonio natural de una región (Brim et al., 2023; Stevens et al., 2021, 2022). La degradación de la calidad del agua de manantial puede conducir a la disminución o incluso a la extinción de estos taxones dependientes del manantial. Los manantiales a menudo tienen propiedades químicas y térmicas únicas que sustentan comunidades específicas de organismos. La protección de la calidad del agua garantiza la existencia continua de estas especies y las funciones ecológicas que desempeñan dentro del ecosistema más amplio.

Mejora de las Oportunidades Económicas y la Sostenibilidad a Largo Plazo: Los manantiales naturales caracterizados por una buena calidad del agua pueden servir como base para diversas actividades económicas que contribuyen a la sostenibilidad y la prosperidad de las comunidades y regiones locales. Estas actividades pueden incluir el

ecoturismo y las actividades recreativas, que se sienten atraídos por entornos naturales limpios y pintorescos, así como el potencial de industrias sostenibles de agua embotellada que aprovechan la pureza y el contenido mineral natural del agua de manantial (Liu et al., 2023; World Bank Group, 2025). El mantenimiento de la calidad de estos recursos hídricos garantiza su disponibilidad a largo plazo tanto para el uso humano como para el desarrollo económico, fomentando una relación armoniosa entre la conservación ambiental y el crecimiento económico. Los beneficios económicos derivados de los manantiales naturales prístinos se extienden más allá de las ganancias monetarias directas para incluir la preservación del capital natural y la evitación de costosos esfuerzos de remediación asociados con la contaminación del agua. La protección de la calidad del agua de manantial representa una sabia inversión en la salud económica y ambiental a largo plazo de una región (Liu et al., 2023; World Bank Group, 2025). El valor económico del agua limpia a menudo supera los costos de su protección. Cuando el agua de manantial está contaminada, los costos de su tratamiento para que sea segura para beber o para uso industrial pueden volverse prohibitivos. La disminución de la calidad del agua también puede afectar negativamente a las industrias que dependen del agua limpia, como la agricultura y el turismo, lo que lleva a pérdidas económicas y obstaculiza el desarrollo sostenible.

Métodos para Evaluar la Calidad del Agua en Manantiales Naturales

Mediciones Directas In Situ Utilizando Instrumentos Portátiles Multiparámetro: Este enfoque implica el despliegue de sondas multiparámetro portátiles y de mano y de tecnologías de sensores avanzados para medir directamente un conjunto de parámetros clave de calidad del agua físicos y químicos en la fuente del manantial. Estos instrumentos proporcionan datos en tiempo real o casi en tiempo real sobre indicadores críticos como la temperatura del agua, los niveles de pH, la conductividad eléctrica (CE), las concentraciones de oxígeno disuelto (OD), la turbidez (una medida de la claridad del agua) y el potencial de oxidación-reducción (ORP) (Goblirsch et al., 2025; Kumar et al., 2024; Pokhrel et al., 2025; US EPA, 2023). Las mediciones in situ ofrecen la ventaja

significativa de una evaluación inmediata de las condiciones de calidad del agua en el campo, minimizando las posibles alteraciones que pueden ocurrir durante la recolección y el transporte de muestras. El avance de la tecnología de sensores in situ permite un monitoreo continuo y de alta resolución de la calidad del agua de manantial, lo que permite la detección de cambios rápidos y proporciona datos valiosos para los sistemas de gestión del agua (Goblirsch et al., 2025; Kumar et al., 2024; Pokhrel et al., 2025; US EPA, 2023).. Este flujo de datos en tiempo real permite una comprensión más completa de las fluctuaciones de la calidad del agua en respuesta a factores ambientales o actividades humanas. El monitoreo continuo con sensores in situ puede revelar variaciones a corto plazo en la calidad del agua que podrían pasarse por alto con un muestreo puntual infrecuente. Estos datos de alta resolución son cruciales para comprender la dinámica de los sistemas de agua de manantial y para desarrollar estrategias de gestión eficaces.

Análisis de Laboratorio Exhaustivo de Muestras de Agua Recogidas: Una piedra angular de la evaluación de la calidad del agua implica la recolección meticulosa de muestras de agua de manantiales naturales, seguida de su análisis detallado en un entorno de laboratorio. Esto permite la determinación precisa de una amplia gama de constituyentes químicos, incluidos los iones principales (p. ej., calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruro, sulfato, bicarbonato), elementos traza (p. ej., hierro, manganeso, arsénico, plomo), nutrientes (p. ej., nitratos, fosfatos) y diversos compuestos orgánicos (Chand et al., 2021; Fekeda & Gutema, 2025; Shi et al., 2020; Zulkifli et al., 2018). Además, el análisis de laboratorio es esencial para evaluar los parámetros microbiológicos, como la presencia y la concentración de bacterias indicadoras (p. ej., coliformes fecales, coliformes totales), así como otros microorganismos como virus y protozoos. Se emplean métodos analíticos estandarizados e instrumentación avanzada para garantizar la precisión y la fiabilidad de los datos de calidad del agua obtenidos. El análisis de laboratorio proporciona una profundidad de información sobre la calidad del agua de manantial que complementa las mediciones in situ, lo que permite la

cuantificación de una amplia gama de parámetros, incluidos aquellos presentes en concentraciones muy bajas o aquellos que requieren técnicas analíticas especializadas. Esta caracterización química y biológica exhaustiva es crucial para una comprensión completa de la idoneidad del agua para diversos usos y para identificar posibles fuentes de contaminación (Chand et al., 2021; Fekeda & Gutema, 2025; Shi et al., 2020; Zulkifli et al., 2018). Si bien las mediciones de campo ofrecen instantáneas inmediatas de ciertos parámetros, el análisis de laboratorio proporciona una imagen más detallada y completa de la composición química y biológica del agua, incluida la identificación de contaminantes específicos y sus concentraciones.

Aplicación de Índices de Calidad del Agua (ICA) y Técnicas Estadísticas

Avanzadas: Los Índices de Calidad del Agua (ICA) sirven como herramientas valiosas para simplificar la interpretación de conjuntos de datos complejos de calidad del agua al agregar múltiples parámetros en un único valor numérico adimensional que representa la calidad general del agua para un uso específico designado, como agua potable o riego (Addisie, 2022; Chand et al., 2021; Chidiac et al., 2023; Paliyal et al., 2024). Además, la aplicación de métodos estadísticos avanzados, incluido el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de conglomerados, permite a los investigadores evaluar datos intrincados de calidad del agua, identificar posibles fuentes de contaminación y discernir relaciones y patrones significativos entre diversos parámetros de calidad del agua (Chalise et al., 2023; Shi et al., 2020). Estas técnicas analíticas son esenciales para obtener una comprensión más profunda de los factores que influyen en la calidad del agua de manantial y para respaldar decisiones informadas sobre la gestión de los recursos hídricos. La utilización de los ICA facilita la comunicación eficaz de la información sobre la calidad del agua a un público más amplio, incluidos los responsables de la formulación de políticas y el público en general, al traducir datos científicos complejos en puntuaciones o categorías fácilmente comprensibles. Además, el análisis estadístico proporciona herramientas poderosas para identificar los principales impulsores de las variaciones en la calidad del agua y para diferenciar entre las influencias naturales

y los impactos antropogénicos (Chidiac et al., 2023; Paliyal et al., 2024; Puente Miranda et al., 2023). Los ICA ofrecen una forma simplificada de comunicar la salud general de una masa de agua. Los métodos estadísticos permiten la identificación de tendencias, correlaciones y los factores subyacentes que influyen en la calidad del agua, lo cual es crucial para los esfuerzos eficaces de gestión y remediación.

Parámetros Principales de la Calidad del Agua para Manantiales Naturales

Concentración de Iones de Hidrógeno (pH): El pH, un parámetro fundamental en la evaluación de la calidad del agua, proporciona una medida de la acidez o alcalinidad del agua en una escala logarítmica que va de 0 a 14. Influye significativamente en la solubilidad, las reacciones químicas y la disponibilidad biológica de muchos constituyentes químicos y biológicos presentes en el agua (Abduljabar et al., 2020; Baeza, 2016; Chalise et al., 2023; Fattah et al., 2021). Para la mayoría de las fuentes de agua potable y el sustento de la vida acuática, un rango de pH óptimo generalmente se encuentra entre 6,5 y 8,5. Desviaciones significativas de este rango de pH neutro en los manantiales naturales pueden servir como indicadores de posibles fuentes de contaminación, como el drenaje ácido de las actividades mineras o las descargas alcalinas de los procesos industriales, o pueden reflejar influencias geológicas naturales dentro de la cuenca del manantial. El monitoreo del pH es crucial, ya que impacta directamente la idoneidad del agua para diversos usos y la salud general del ecosistema del manantial (Abduljabar et al., 2020; Fattah et al., 2021; Georges et al., 2020). El pH afecta el equilibrio químico del agua y la biodisponibilidad de nutrientes y contaminantes. Los valores extremos de pH pueden ser dañinos para los organismos acuáticos y también pueden afectar la eficacia de los procesos de tratamiento del agua.

Concentración de Oxígeno Disuelto (OD): El oxígeno disuelto (OD) se refiere al nivel de oxígeno gaseoso que se disuelve en el agua, expresado en miligramos por litro (mg/L) o partes por millón (ppm). Es un parámetro absolutamente esencial para la respiración y la supervivencia de la mayoría de los organismos acuáticos, incluidos peces, invertebrados y microorganismos aeróbicos (Baeza, 2016; Chidiac et al., 2023; Dendup

et al., 2022; Pokhrel et al., 2025). Los niveles adecuados de OD son indicativos de un ambiente acuático saludable, mientras que las bajas concentraciones de OD pueden provocar estrés, asfixia y la creación de condiciones anaeróbicas que pueden degradar aún más la calidad del agua. La concentración de OD en el agua de manantial puede verse influenciada por una variedad de factores, incluida la temperatura del agua (el agua más cálida retiene menos oxígeno), la presencia y descomposición de materia orgánica, la velocidad del flujo de agua y la aireación, y la actividad fotosintética de las plantas y algas acuáticas. Los niveles de OD deprimidos en un manantial pueden ser un signo de contaminación orgánica, enriquecimiento de nutrientes que conduce a un crecimiento excesivo de algas o condiciones de agua estancada (Baeza, 2016; Dendup et al., 2022; Nerae et al., 2024). El oxígeno es vital para los procesos metabólicos de la vida acuática. El bajo OD puede crear "zonas muertas" donde muchos organismos no pueden sobrevivir, lo que lleva a una disminución de la biodiversidad y la salud general del ecosistema.

Sólidos Disueltos Totales (SDT) y Conductividad Eléctrica (CE): Los Sólidos Disueltos Totales (SDT) cuantifican la cantidad total de sustancias inorgánicas y orgánicas disueltas presentes en el agua, incluidos minerales, sales y materia orgánica, generalmente expresados en mg/L. La Conductividad Eléctrica (CE), medida en microSiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$), refleja la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica, que es directamente proporcional a la concentración de iones disueltos en el agua (Abduljabar et al., 2020; Chalise et al., 2023; Chand et al., 2021; Pokhrel et al., 2025). Tanto los SDT como la CE son indicadores importantes de la salinidad general y el contenido mineral del agua. Los niveles elevados de SDT o CE en el agua de manantial pueden resultar de la disolución natural de minerales a medida que el agua subterránea fluye a través de formaciones geológicas, particularmente aquellas ricas en sales y minerales solubles. Sin embargo, los aumentos significativos por encima de los niveles de fondo también pueden indicar contaminación antropogénica de fuentes como la escorrentía agrícola que contiene fertilizantes y pesticidas, las descargas industriales que

contienen sales y productos químicos disueltos o el lixiviado de vertederos y sistemas sépticos (Abduljabar et al., 2020; León et al., 2022; Paliyal et al., 2024). Los SDT o la CE elevados pueden afectar el sabor y la potabilidad del agua potable y también pueden ser perjudiciales para ciertos organismos acuáticos y usos agrícolas. Los SDT altos pueden hacer que el agua tenga un sabor salado o salobre y también pueden causar problemas en los electrodomésticos y las tuberías debido a la acumulación de minerales. La CE elevada indica una mayor concentración de iones, que pueden ser dañinos según los iones específicos presentes.

Tabla 01: Resumen de los parámetros clave de calidad del agua para manantiales naturales

Parámetro	Unidades	Significado típico
pH	unidades de pH	Acidez/alcalinidad; afecta las reacciones químicas y los procesos biológicos.
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	Esencial para la vida acuática; los niveles bajos indican posible contaminación.
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L	Total de sustancias disueltas; los niveles altos afectan el sabor y la usabilidad.
Conductividad Eléctrica (CE)	μS/cm	Capacidad para conducir electricidad; indica la concentración de iones disueltos.
Turbidez	UNT	Turbidez del agua; los niveles altos pueden dificultar la desinfección e indicar sedimentos o contaminación.
Temperatura	°C	Influye en los procesos biológicos y químicos; afecta los niveles de OD.
Dureza	mg/L como CaCO ₃	Concentración de calcio y magnesio; afecta la capacidad del agua para hacer espuma y puede causar incrustaciones.

Nitrato (NO_3^-)	mg/L	Nutriente; los niveles altos pueden indicar escorrentía agrícola o contaminación por aguas residuales y representar riesgos para la salud (p. ej., metahemoglobinemia en lactantes).
Fosfato (PO_4^{3-})	mg/L	Nutriente; los niveles altos pueden indicar aguas residuales o escorrentía de fertilizantes y contribuir a la eutrofización en las masas de agua aguas abajo.
Coliformes Fecales (<i>E. coli</i>)	UFC/100 mL o NMP/100 mL	Indicador de contaminación fecal; su presencia indica potencial de enfermedades transmitidas por el agua.
Metales Traza (p. ej., As, Pb)	$\mu\text{g/L}$ o mg/L	Pueden ocurrir naturalmente o por contaminación; muchos son tóxicos para los humanos y la vida acuática por encima de ciertos niveles (p. ej., el arsénico puede causar problemas en la piel y cáncer; el plomo afecta el desarrollo neurológico).

Problemas asociados a la mala calidad del agua en manantiales naturales.

Proliferación de enfermedades transmitidas por el agua: Cuando los manantiales naturales se contaminan con microorganismos patógenos como bacterias (*Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio cholerae*), virus (Hepatitis A, Rotavirus, Norovirus) y protozoos (*Giardia*, *Cryptosporidium*), a menudo originados por fuentes fecales debido a un saneamiento inadecuado o desechos animales, pueden servir como una vía directa para la transmisión de enfermedades transmitidas por el agua. Estas enfermedades pueden manifestarse como una variedad de dolencias, incluidas enfermedades diarreicas, cólera, fiebre tifoidea y hepatitis A, lo que representa una amenaza significativa y continua para la salud pública, particularmente en las comunidades que dependen del agua de manantial sin tratar para beber (Berihun et al., 2023; Lanrewaju et al., 2022; Manetu & Karanja, 2021;

Organización Mundial de la Salud, 2023). La persistencia de enfermedades transmitidas por el agua vinculadas a fuentes de agua contaminadas, incluidos los manantiales, en muchas partes del mundo, especialmente en los países en desarrollo, subraya los desafíos continuos para garantizar el acceso a agua potable segura y el papel crítico de la gestión de la calidad del agua y la infraestructura de saneamiento (Manetu & Karanja, 2021; Organización Mundial de la Salud, 2023; Yeboah et al., 2022). La carga de estas enfermedades afecta de manera desproporcionada a las poblaciones vulnerables, como los niños y las personas inmunocomprometidas. La presencia de bacterias indicadoras fecales en el agua de manantial es una fuerte señal de advertencia de posible contaminación con una amplia gama de microorganismos causantes de enfermedades. El consumo de dicha agua puede provocar diversas enfermedades, algunas de las cuales pueden ser graves o incluso mortales, especialmente en ausencia de un tratamiento adecuado.

Degradación de los ecosistemas acuáticos y pérdida de biodiversidad: La mala calidad del agua en los manantiales naturales, a menudo como resultado de la contaminación con nutrientes excesivos (como nitratos y fosfatos de la escorrentía agrícola o las aguas residuales), el aumento de los niveles de sedimentos (por la erosión debida a la deforestación o el desarrollo de la tierra) y la introducción de productos químicos tóxicos (por descargas industriales o pesticidas), puede comprometer gravemente la salud y la funcionalidad de los delicados ecosistemas acuáticos que sustentan estos manantiales (Khatri & Tyagi, 2015; Lin et al., 2022; Peters & Meybeck, 2024; Singh et al., 2025). Esta degradación puede conducir a la eutrofización (crecimiento excesivo de algas que agota el oxígeno), la destrucción del hábitat, la reducción de la claridad del agua y el envenenamiento directo de los organismos acuáticos, lo que en última instancia resulta en una pérdida significativa de biodiversidad y la interrupción de intrincadas redes alimentarias. Los ecosistemas de manantiales naturales a menudo se caracterizan por condiciones ambientales estables y una química del agua única, que sustentan una flora y fauna especializadas que son particularmente sensibles a los

cambios en la calidad del agua. Incluso niveles relativamente bajos de contaminación pueden tener profundos impactos negativos en estos hábitats frágiles, lo que podría conducir a la disminución o incluso a la extinción de especies endémicas y raras que están adaptadas de manera única a estos entornos de manantial (Ahmed et al., 2020; Brim et al., 2023; Stevens et al., 2022; Sudia et al., 2021). Los cambios en los niveles de nutrientes pueden provocar floraciones de algas que agotan el oxígeno y matan a los peces y otras formas de vida acuática. La contaminación por sedimentos puede asfixiar los hábitats y reducir la penetración de la luz. Los productos químicos tóxicos pueden envenenar directamente a los organismos o interrumpir sus procesos reproductivos, lo que lleva a una disminución de la biodiversidad y la salud del ecosistema en general.

Impactos económicos adversos y obstaculización del desarrollo sostenible: Las consecuencias de la mala calidad del agua en los manantiales naturales se extienden más allá de los efectos directos sobre la salud y el medio ambiente para abarcar importantes impactos económicos que pueden obstaculizar el desarrollo sostenible de las comunidades y regiones que dependen de estos recursos (Das et al., 2025; Moore, 2025; Morales, 2021; OMS, 2023b). Estos impactos pueden incluir mayores costos asociados con el tratamiento del agua de manantial contaminada para que sea segura para beber o para uso industrial, pérdida de ingresos por turismo y actividades recreativas debido al valor estético o ecológico degradado de los manantiales y efectos negativos en industrias como la agricultura y la pesca que dependen de suministros de agua limpios y confiables. Además, la degradación de la calidad del agua también puede conducir a una disminución del valor de las propiedades en las áreas circundantes e imponer cargas económicas sustanciales a las comunidades a través del aumento de los gastos de atención médica y la reducción de la productividad debido a las enfermedades transmitidas por el agua. Los costos económicos asociados con la degradación de la calidad del agua de manantial natural son multifacéticos y pueden tener consecuencias duraderas para la estabilidad económica y el potencial de desarrollo de una región. Por lo tanto, proteger y mantener la calidad de estos recursos hídricos vitales no es solo un

imperativo ambiental, sino también una estrategia económica sólida que produce importantes beneficios a largo plazo (Global Commission on the Economics of Water, 2023; Great Springs Project, s. f.; The American Society of Civil Engineers, 2020; Wynn et al., 2014). Las ventajas económicas del agua limpia a menudo superan los costos de implementar medidas eficaces de protección y gestión. Cuando el agua de manantial está contaminada, los costos de su tratamiento para beber o para uso industrial pueden volverse prohibitivos. La disminución de la calidad del agua también puede afectar negativamente a las industrias que dependen del agua limpia, como la agricultura y el turismo, lo que lleva a pérdidas económicas y obstaculiza el desarrollo sostenible.

Importancia de la calidad del agua en manantiales naturales.

Los manantiales naturales representan fuentes de agua dulce invaluable, que desempeñan un papel fundamental en el sustento de las poblaciones humanas y los diversos ecosistemas en todo el mundo. Sin embargo, estos recursos vitales se enfrentan a presiones cada vez mayores debido a una compleja interacción de actividades humanas, que incluyen la urbanización, la agricultura y el desarrollo industrial, así como los impactos generales de los cambios ambientales, como el cambio climático.

El mantenimiento de una buena calidad del agua dentro de estos manantiales naturales es de suma importancia, ya que constituye la piedra angular para salvaguardar la salud pública mediante la prevención del brote y la propagación de enfermedades transmitidas por el agua, preservar la delicada integridad ecológica de los entornos acuáticos y la biodiversidad que sustentan, y garantizar la sostenibilidad económica a largo plazo de las comunidades y regiones que dependen de estas fuentes confiables de agua limpia.

Una comprensión integral y matizada de la calidad del agua, que abarque sus definiciones multifacéticas, los marcos teóricos subyacentes que guían su evaluación, las características clave que definen su estado, los diversos métodos empleados para su evaluación, los parámetros principales que sirven como indicadores de su condición y los importantes problemas asociados con su degradación, es absolutamente esencial para la gestión eficaz y la protección sólida de estos recursos naturales críticos.

De cara al futuro, los esfuerzos futuros de investigación deberían priorizar el desarrollo e implementación de estrategias sostenibles para el monitoreo continuo, la gestión adaptativa y la restauración ecológica de la calidad del agua en los manantiales naturales. Tales esfuerzos son cruciales para garantizar la disponibilidad a largo plazo de estos preciosos recursos y para maximizar sus beneficios tanto para las sociedades humanas como para la intrincada red de vida que depende de ellos.

Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

En Perú, los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua son definidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM) como los valores máximos permisibles de contaminantes presentes en el ambiente, cuyo objetivo primordial es asegurar la conservación de la calidad ambiental mediante la utilización de instrumentos de gestión ambiental avanzados y una evaluación detallada (MINAM, s. f.). Si bien el Instituto Ambiental Peruano señala que los ECA no son de exigencia legal directa, son empleados para establecer políticas ambientales públicas y buscan definir un nivel aceptable de calidad para las emisiones (Instituto de Calidad Ambiental, 2023).

La Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en su artículo 31, establece que el ECA es la medida que fija el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor, que no representa un riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente (MINAM, 2017c). Esta misma ley subraya el carácter obligatorio de los ECA en el diseño de normas legales y políticas públicas, así como su rol como referente obligatorio en la elaboración y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental (MINAM, 2017c). En este sentido, los ECA se erigen como una herramienta fundamental para que los entes reguladores trabajen en pro de la calidad ambiental ofrecida a los ciudadanos, y su incumplimiento puede acarrear sanciones económicas importantes (Instituto de Calidad Ambiental, 2023a). La importancia de los ECA radica en su función de proteger el ambiente y la salud de las personas al establecer las medidas de concentración máxima de aquellos elementos o sustancias en un componente ambiental

(Conexión Esan, 2016).

Los ECA actúan como un indicador del estado de la calidad del ambiente en el territorio nacional (MINAM, 2019). Permitiendo evaluar los posibles impactos ambientales de un proyecto y facilitando la identificación de medidas para prevenir, mitigar y/o compensar dichos impactos mediante planes de monitoreo y seguimiento.⁹ Asimismo, sirven de base para la formulación de políticas públicas y otras normas, como los Límites Máximos Permisibles (LMP) (Instituto de Calidad Ambiental, 2023c). Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) tienen como finalidad establecer las condiciones de calidad que debe presentar un cuerpo receptor para asegurar la protección de la salud humana y la integridad de los ecosistemas, evitando la configuración de riesgos significativos. Por su parte, la capacidad de carga representa el umbral máximo de contaminantes que dicho cuerpo receptor puede asimilar y dispersar mediante sus procesos naturales sin que estos mecanismos intrínsecos se vean funcionalmente comprometidos (Verna, 2016)

Importancia de los ECA para la protección del medio ambiente y la salud pública en Perú.

Los ECA para agua desempeñan un papel crucial en la protección del medio ambiente peruano al buscar la conservación de la calidad de los recursos hídricos en su estado natural (Instituto de Calidad Ambiental, 2023b). Contribuyen de manera significativa a la preservación de los ecosistemas acuáticos, incluyendo ríos, lagos y ambientes marinos (Instituto de Calidad Ambiental, 2023b), y ayudan a mantener la biodiversidad al asegurar una calidad de agua que sea adecuada para la vida acuática (SLab, 2025). Un aspecto relevante es que la Categoría 4 de los ECA se enfoca específicamente en la conservación del ambiente acuático en ecosistemas frágiles y áreas naturales protegidas (MINAM, 2017c), lo que demuestra una atención particular a la salud de los cuerpos de agua naturales y la diversidad biológica que alberga.

En cuanto a la salud pública, los ECA establecen niveles seguros de concentración de diversas sustancias en el agua destinada a múltiples usos, como el consumo humano, la recreación y el riego (Instituto de Calidad Ambiental, 2023b). Al fijar límites para

contaminantes microbiológicos y químicos, contribuyen a la prevención de enfermedades transmitidas por el agua (SLab, 2025). El cumplimiento de estos estándares garantiza que el agua utilizada en las actividades humanas no represente un riesgo para la salud (SLab, 2025). De hecho, la Categoría 1 de los ECA, denominada Poblacional y Recreacional, está directamente vinculada a la protección de la salud humana a través del suministro de agua potable y la seguridad de las aguas recreativas (MINAM, 2017c).

2.1.1. MARCO NORMATIVO

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua (DS 004-217-MINAM): Los ECA establecen los niveles de concentración de sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua que no representan un riesgo significativo para la salud humana ni para el ambiente. Estos estándares son utilizados como referencia para evaluar la calidad de las fuentes de agua y asegurar su sostenibilidad (MINAM, 2017a).

Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (Decreto Supremo N.º 031-2010-SA): Este reglamento establece las disposiciones generales relacionadas con la gestión de la calidad del agua para consumo humano en el Perú. Define los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y radiactivos que el agua debe cumplir para ser considerada apta para el consumo. Además, detalla las responsabilidades de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento y las autoridades de salud en la vigilancia y control de la calidad del agua, Ministerio de Salud (2010).

Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales R.J. N.º 010-2016-ANA: Es una herramienta normativa que establece las directrices y procedimientos técnicos para evaluar y monitorear la calidad de agua superficial en el país. Entre sus principales objetivos se encuentran: definición de parámetros, metodología de muestreo y análisis, frecuencia y diseño de monitoreo, sistematización y reporte de datos. (ANA, 2016a)

Ley de Recursos Hídricos (Ley N.º 29338): Esta ley regula la gestión integrada y multisectorial de los recursos hídricos en el Perú, garantizando su uso sostenible y equitativo. Establece que el Estado debe asegurar a todas las personas el derecho de

acceso a servicios de agua potable en cantidad suficiente y en condiciones de seguridad y calidad, ANA (2009).

Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS): La (Organización Mundial de la Salud, 2018), en sus *Guías para la calidad del agua potable*, recomienda estándares globales que Perú adopta como referencia, como:

pH: 6.5–8.5.

Turbidez: < 5 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

Arsénico: 10 µg/L (equivalente al estándar peruano).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Agua: El agua es un líquido transparente, inoloro, incoloro e insípido que está compuesto de dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno (H₂O). Este es un recurso natural fundamental para la vida y el equilibrio de los ecosistemas; se destaca por su capacidad de actuar como un solvente universal (Gleick, 2014).

Temperatura: Influye en la solubilidad de gases y en las tasas metabólicas de los organismos acuáticos. Variaciones en la temperatura pueden afectar la calidad del agua y su ecosistema asociado. (Agroambient)

Turbidez: Se refiere a la claridad del agua y está relacionada con la presencia de partículas suspendidas que dispersan la luz. Altos niveles de turbidez pueden disminuir la penetración de la luz solar, afectando la fotosíntesis de las plantas acuáticas y, por ende, la producción de oxígeno. (Aconsa Lab 2022)

Color: El color del agua puede indicar la presencia de materiales orgánicos o inorgánicos disueltos. Aunque el color en sí mismo no siempre representa un riesgo para la salud, puede ser indicativo de contaminación y afectar la aceptabilidad estética del agua.

Sabor y olor: Aunque generalmente son parámetros estéticos, cambios en el sabor y olor del agua pueden indicar la presencia de contaminantes químicos o biológicos, afectando su aceptabilidad para el consumo humano (Aconsa Lab 2022).

Sólidos disueltos totales (TDS): Miden la concentración de sustancias inorgánicas y orgánicas disueltas en el agua. Altos niveles de TDS pueden influir en el sabor del agua y, en algunos casos, representar riesgos para la salud. (Aconsa Lab 2022)

Conductividad: Es una medida de la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, directamente relacionada con la concentración de iones disueltos. La conductividad proporciona información sobre la salinidad y la presencia de minerales en el agua. (Aconsa Lab 2022)

Calidad del agua: La calidad del agua hace referencia a los atributos físicos, químicos, biológicos y organolépticos que establecen su aptitud para diferentes propósitos, como el consumo humano, la agricultura y las actividades industriales. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua destinada al consumo humano debe estar exenta de contaminantes que puedan poner en peligro la salud, tales como microorganismos patógenos, sustancias químicas tóxicas y elementos radiológicos (OMS, 2017).

La calidad del agua se ve afectada por elementos naturales y por actividades humanas. Entre los factores naturales se encuentran la geología local, el clima y la vegetación, mientras que las actividades humanas incluyen la urbanización, las actividades agrícolas, industriales y la gestión de residuos. Estas variables pueden modificar de manera considerable las características del agua, comprometiendo su potabilidad y su aptitud para distintos usos. (UNESCO, 2019).

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL:

La calidad del agua de las captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas no cumple con los valores establecidos, en comparación con el ECA Agua DS 004-2017-MINAM.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:

- Algunos parámetros físicoquímicos encontrados en las captaciones de agua Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas sobrepasan los valores establecidos en el ECA para agua DS 004-2017-MINAM.
- Algunos parámetros microbiológicos reportados en las captaciones de agua de Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas sobrepasan los valores establecidos en el ECA para agua DS 004-2017-MINAM.
- Algunos parámetros inorgánicos de metales pesados en el agua de las captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas superan los ECA para agua DS 004-2017-MINAM.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El presente estudio se llevó a cabo en la región de Moquegua, provincia de Mariscal Nieto, distrito de Carumas, localidad de Carumas. La ubicación referencial corresponde a las coordenadas: Coordenada ESTE : 319394.62, Coordenada NORTE : 8140766.06, con una altitud de 3.051.00 m.s.n.m.

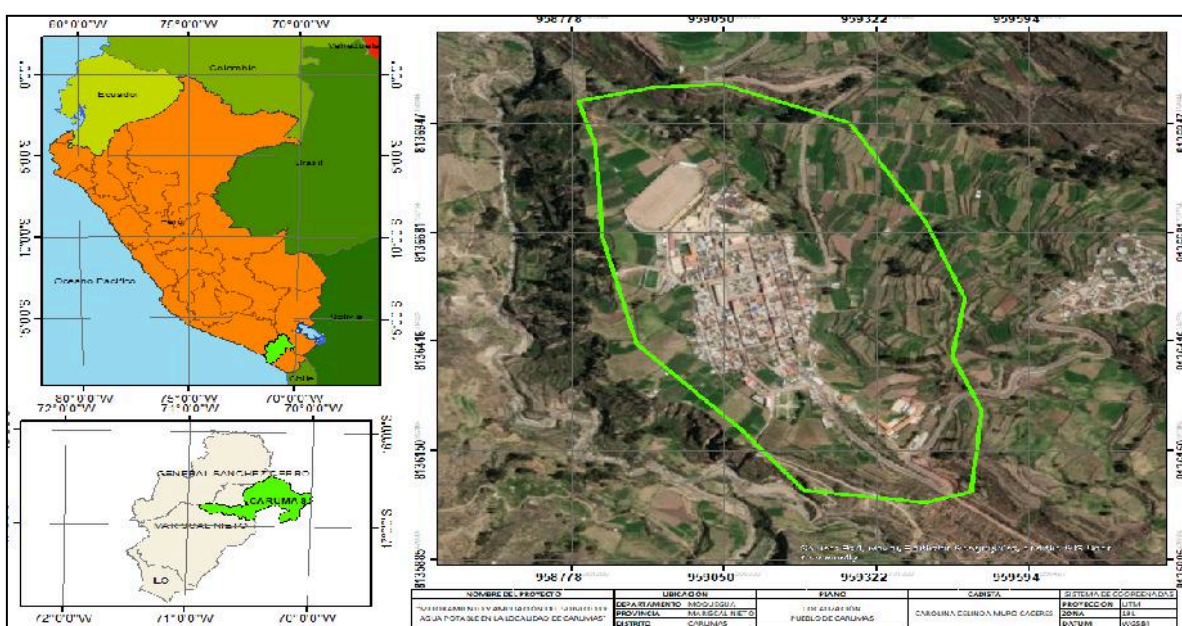


Figura 01: Mapa de localización

Fuente: Sincronización con ARCGIS 10.8 y Google Earth Pro 7.3.6.

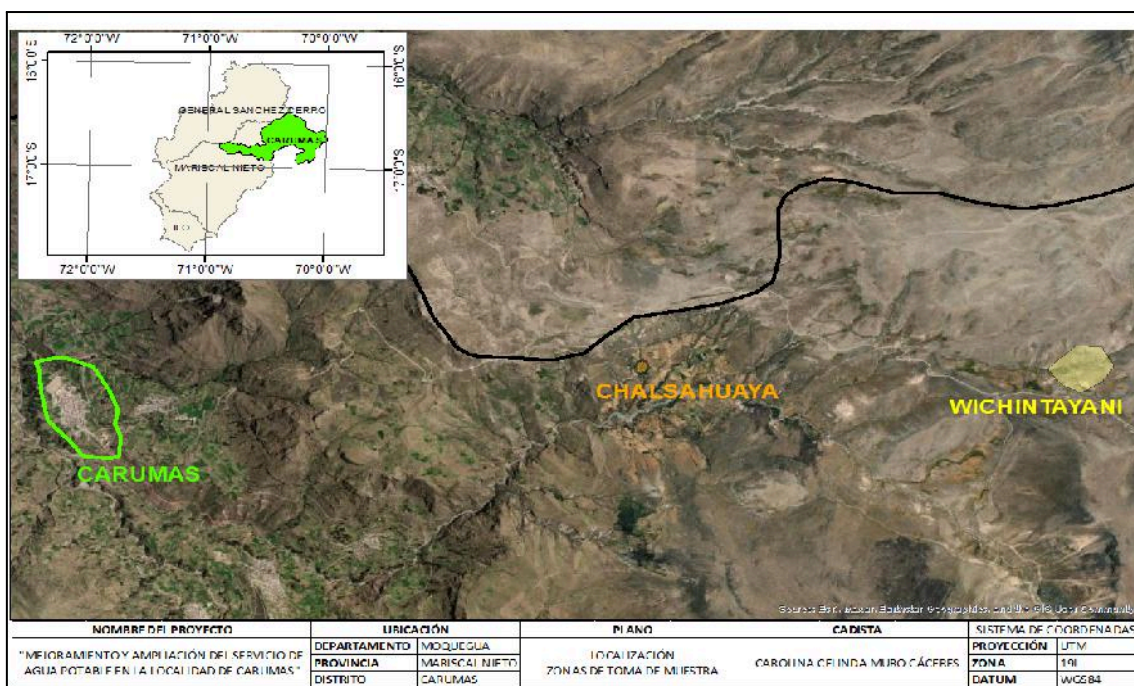


Figura 02: Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Fuente: Sincronización Google Earth 7.3.6

Tabla 02: Coordenadas geográficas básicas de ubicación

Poblado, anexo, referencia	Distrito	Provincia	Departamento	Coordenadas (UTM WGS84)	
				Este	Norte
				Plaza de Armas - Carumas	Carumas

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

La población comprende las captaciones de agua Winchintayani 01, 02, 03 Y Chalsahuaya, que en total son 4 manantiales en el distrito de Carumas - provincia de Mariscal Nieto - departamento de Moquegua.

3.2.2 MUESTRA

La muestra será de las 4 captaciones, Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya con muestreo no probabilístico por conveniencia.

Tabla 03: Coordenadas geográficas de las captaciones de agua

N°	CÓDIGO	COORDENADAS UTM WGS84 - 19L		Elevación
		NORTE	ESTE	
1	Wichintayani 01	327931,62	8141543,07	4151,2
2	Wichintayani 02	327919,22	8141444,73	4142,96
3	Wichintayani 03	327838,06	8141427,78	4137,82
4	Chalsahuaya	324184,94	8141325,17	3768,5

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, el cual se fundamenta en la recolección sistemática y medición numérica de variables definidas para describir y evaluar la calidad del agua en los manantiales objeto de estudio. Este enfoque, asociado predominantemente con un razonamiento deductivo, permite el análisis estadístico de los datos recopilados, facilitando la interpretación objetiva de los resultados (Sampieri Hernandez et al., 2014). La lógica deductiva se manifiesta al aplicar teorías o normas generales preestablecidas, en este caso, los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua a las observaciones específicas, los resultados analíticos de las muestras de cada manantial para verificar hipótesis implícitas sobre el cumplimiento normativo; este proceso de partir de un marco general (la norma) para contrastarlo con casos particulares (los datos) es característico del método deductivo en la investigación cuantitativa (Sampieri Hernandez et al., 2014),

3.3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

El diseño metodológico se clasifica como no experimental, puesto que las variables de interés (parámetros de calidad del agua) se observarán y medirán en su contexto natural,

sin que exista una manipulación deliberada de variables independientes por parte del investigador (Kerlinger et al., 2002; Sampieri Hernandez et al., 2014).

3.3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN:

El diseño metodológico es de naturaleza descriptiva, en tanto busca caracterizar el estado actual de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de metales pesados en los puntos de muestreo, y evaluativa, ya que los resultados obtenidos serán comparados con criterios normativos preestablecidos para determinar el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental (Polit & Hungler, 2000).

3.3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

Los procedimientos de muestreo se ajustaron rigurosamente a las especificaciones técnicas detalladas en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA) (ANA, 2016b). Dicho protocolo estandariza criterios clave, incluyendo: la selección justificada de los puntos de muestreo en la zona de surgencia; la medición *in situ* de parámetros lábiles (pH, T°, CE, OD) mediante instrumentación debidamente calibrada; la aplicación de técnicas de recolección y envase específicas para cada tipo de análisis, incluyendo procedimientos asépticos para muestras microbiológicas; la preservación química de las muestras según corresponda (e.g., acidificación con HNO₃ para metales); y el mantenimiento documentado de la cadena de custodia.

Para la siguiente investigación se identificaron las 4 captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya (manantiales). Los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de metales pesados fueron ejecutados por un laboratorio debidamente acreditado por el INACAL, el cual empleó métodos analíticos estandarizados y validados a nivel internacional.

La interpretación de los resultados analíticos y la consecuente evaluación de la calidad del agua se basó primordialmente en la comparación de las concentraciones y valores obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (MINAM, 2017a). Se realizó una selección fundamentada de la categoría del ECA aplicable a cada manantial, considerando su uso

actual o potencial más restrictivo (e.g., Categoría 1: Poblacional y Recreacional, Subcategoría A1 o A2, para aguas destinadas a potabilización; Categoría 3 para riego o bebida de animales) (MINAM, 2017a).

METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Se tomaron las muestras de agua de las cuatro captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de CARUMAS. El muestreo se hizo por conveniencia en función de la accesibilidad y representatividad; se realizaron las técnicas de medición in situ y análisis de laboratorio siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016b). Las muestras fueron tomadas y analizadas por un laboratorio certificado por el INACAL; los resultados obtenidos se compararon con los valores estipulados en el estándar de calidad ambiental del agua (ECA) 004-2017-MINAM; los cuales se presentan mediante estadísticas descriptivas, tablas y gráficos utilizando Excel y Python.

La metodología analítica para la determinación de los parámetros fisicoquímicos fue la siguiente:

- Aniones por Cromatografía Iónica: EPA Method 300.0 1993 Determination of inorganic anions by ion chromatography.
- Cianuro Total: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4120 B 23rd Ed. 2017 Segmented Flow Analysis Method
- Color Verdadero: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23rd Ed.2017.Color. Spectrophotometric-Single-Wavelength Method (Proposed)
- Conductividad en Campo: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B. 23rd Ed.2017.Conductivity. Laboratory Method
- Dureza Total: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 23rd Ed.2017.Hardness. EDTA Titrimetric Method
- Sólidos Totales Disueltos: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 23rd Ed.2017.Solids. Total dissolved Solids Dried at 180° C

- Turbiedad en Campo: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B. 23rd Ed. 2017. Turbidity. Nephelometric Method
- pH en Campo: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500- H + B. 23 rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method
- Cloro Residual en Campo: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CIG, 23rd Ed. 2017. Chlorine(Residual). DPD Colorimetric Method

METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE METALES PESADOS

Se realizó la toma de muestras de agua de las cuatro captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas; el muestreo se hizo por conveniencia en función de la accesibilidad y representatividad, y se realizó siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016). Las muestras fueron tomadas y analizadas por un laboratorio certificado por el INACAL. Los resultados obtenidos se compararon con los valores estipulados en el estándar de calidad ambiental del agua (ECA) D.S. N° 004-2017-MINAM, los cuales se presentan mediante estadísticas descriptivas, tablas y gráficos utilizando Excel y Python. La metodología analítica para la determinación de los parámetros inorgánicos metales pesados fue la siguiente:

- Metales Totales por ICP-MS: ISO 17294-2. 2016. Water quality - Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)- Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes

METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Para el análisis microbiológico se seleccionaron las muestras de agua de las cuatro captaciones Wichintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas; el muestreo fue por conveniencia en función de la accesibilidad y representatividad. Se realizaron las técnicas de recolección y transporte de muestras microbiológicas siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016b). Las muestras fueron tomadas y analizadas por un laboratorio certificado por el INACAL. Los resultados obtenidos se compararon con los valores estipulados en el

estándar de calidad ambiental del agua (ECA) DS N° 004-2017-MINAM; los cuales se presentan mediante estadísticas descriptivas, tablas y gráficos utilizando Excel y Python. La metodología analítica para la determinación de los parámetros microbiológicos fue la siguiente:

- Detección y/o enumeración de huevos de helmintos: CERPER LE-ME-HPA (Método Validado) 2011. Detección y/o enumeración de huevos de Helmintos en Aguas: para uso y consumo humano, residual, subterránea. de mar y superficial.
- Organismos de Vida Libre (Protozoarios, Copépodos, Rotíferos (Zooplancton)): SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 10200. C.1, F.2.C.1, G. 23 rd Ed.2017. Plankton. Concentration Techniques. Zooplankton Counting Techniques.
- (*) Protozoarios Patógenos (quistes y ooquistes): CEPIS. 1993. Manual de identificación y cuantificación de enteroparásitos en aguas residuales.
- Método de centrifugación-flotación con sulfato de zinc. Páginas 5-6. 11 y 13. Instituto Nacional de Salud. 2003. Manual de Procedimientos de Laboratorio para el Diagnóstico de los Parásitos del Hombre. Métodos de Concentración por sedimentación 5.3.1. pág. 13-14.
- Coliformes Termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF.Part 9221 E1, 23 rd Ed.2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Thermotolerant (Fecal) Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
- Coliformes Totales: SMEWW-APHA AWWA-WEF.Part 9221 B. 23 rd Ed.2017. Multiple-Tube Fermentation technique for Members of the Coliform group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
- Escherichia coli: SMEWW-APHA AWWA-WEF.Part 9221 F1, 23 rd Ed.2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate...

- Organismos de vida libre (como Algas, Fitoplancton): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 10200 C.1, F.2. c.1, 23 rd Ed.2017. Plankton. Concentration Techniques. Phytoplankton Counting Techniques.
- Organismos de vida libre Nemátodos (en todos los estadios evolutivos): SMEWW-APHA -AWWA-WEF. Part 10750 B. 2.a1. a2. b1 y b2. 23 rd Ed. 2017. Nematological examination. Collection and processing techniques for nematodes.
- Recuento de heterótrofos en Placa: SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part 9215 B. 23 rd Ed.2017. Heterotrophic Plate Count. Pour Plate Method.

3.3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Técnicas:

- Observación directa
- Análisis documental
- Análisis comparativo
- Procesamiento de datos
- Análisis estadístico

Instrumentos:

- Registro fotográfico
- Informes de ensayo, estándares de calidad ambiental para agua DS 004-2017-MINAM y Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales RJ 010-2016-ANA.
- Comparación de los resultados del laboratorio y los estándares de calidad ambiental.
- Excel 2021 para la elaboración de tablas
- JupyterLite 0.5.1 para gráficas y estadísticas descriptivas usando python 3.21.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 04: Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	ESCALA DE MEDICIÓN
Vi.	Parámetros	Cianuro Total	mg/L
Parámetros	físicoquímicos	Cloruros	mg/L
físicoquímicos,		Color (b)	Escala Pt/Co
inorganicos de		Conductividad	µS/cm
metales pesados y		Dureza	mg/L
microbiológicos		Fluoruros	mg/L
		Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L
		Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L
		Potencial de	Unidad de pH
		Hidrógeno (pH)	mg/L
		Sólidos Disueltos	mg/L
		Totales	UNT
		Sulfatos	mg/L
	Metales pesados	Turbiedad	mg/L
		Aluminio (Al)	mg/L
		Antimonio (Sb)	mg/L
		Arsénico (As)	mg/L
Vd		Bario (Ba)	mg/L
		Boro (B)	mg/L
Calidad de Agua		Cadmio (Cd)	mg/L
		Cobre (Cu)	mg/L
		Cromo (Cr)	mg/L

	Hierro (Fe)	mg/L
	Manganeso (Mn)	mg/L
	Mercurio (Hg)	mg/L
	Molibdeno (Mo)	mg/L
	Niquel (Ni)	mg/L
	Plomo (Pb)	mg/L
	Selenio (Se)	mg/L
	Uranio (U)	NMP/100mL
Parámetros	Zinc (Zn)	NMP/100mL
microbiológicos	Coliformes	NMP/100mL
Cumplimiento de	termotolerantes	
los valores según	Coliformes totales	
el ECA del agua	<i>Echerichia coli</i>	

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

Para analizar los estudios obtenidos en la presente investigación, se realizó un estudio descriptivo de enfoque cuantitativo, ya que se recopilaban datos de los resultados de los análisis de las muestras tomadas en las cuatro captaciones, evaluando las características fisicoquímicas, microbiológicas y metales pesados para luego ser verificados en comparación con el DS. 004-2017-MINAM y ver si la calidad de agua cumple con los requisitos establecidos en tal decreto. Para esto se realizó un análisis estadístico descriptivo.

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este apartado se presentarán los resultados obtenidos del análisis de las muestras procesadas por el laboratorio certificado CERPER Certificaciones del Perú S.A., según los objetivos específicos planteados en el capítulo I. A continuación, se compararán los resultados con los valores indicados en el DS. 004-2017-MINAM, según el anexo Categoría 1 y subcategoría A1.

4.1. RESULTADOS OBTENIDOS RESPECTO AL OBJETIVO ESPECÍFICO PRIMERO:

Evaluar los parámetros físico-químicos presentes en las captaciones de agua de WINCHINTAYANI 01, 02, 03 y CHALSAHUAYA, del distrito de Carumas, según el DS 004-2017-MINAM, “Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias”.

4.1.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

Tabla 05: Resultados del análisis de parámetros físicoquímicos.

Parámetros	Unidad	ECA	Winchinta	Winchinta	Winchinta	Chalsahu
	de		yani 01	yani 02	yani 03	aya
	medida					
Cianuro total	mg/L	0,07	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cloruros	mg/L	250	0,227	0,214	0,238	0,374
Color (b)	Escala Pt/Co	15	<1,0	1,13	<1,0	<1,0
Conductividad	µS/cm	1 500	61,6	53,8	53,6	77,9
Dureza	mg/L	500	11,4	10,1	11,4	18,1
Fluoruros	mg/L	1,5	0,050	0,046	0,054	0,055
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	0,417	0,633	0,615	1,54
Nitritos (NO ₂ ⁻) (d)	mg/L	0,1	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	7,48	7,59	7,64	7,24
Sólidos						
Disueltos	mg/L	1 000	41,5	37,5	35,0	51,5
Totales						
Sulfatos	mg/L	250	1,32	0,739	0,676	0,902
Turbiedad	UNT	5	0,25	1,33	0,62	0,35

Nota. Elaborado a partir del informe de ensayo N° 2-00354/25 y el anexo del DS 004-2017-MINAM. El símbolo < indica un valor por debajo del límite de detección del equipo o del método.

En la tabla 5 se detalla cada parámetro analizado en las captaciones de agua Winchintayani 01, Winchintayani 02, Winchintayani 03 y Chalsahuaya, en las cuales se

puede observar que todos los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos de las 4 captaciones se encuentran dentro de los estándares establecidos por el ECA del agua.

Cianuro total

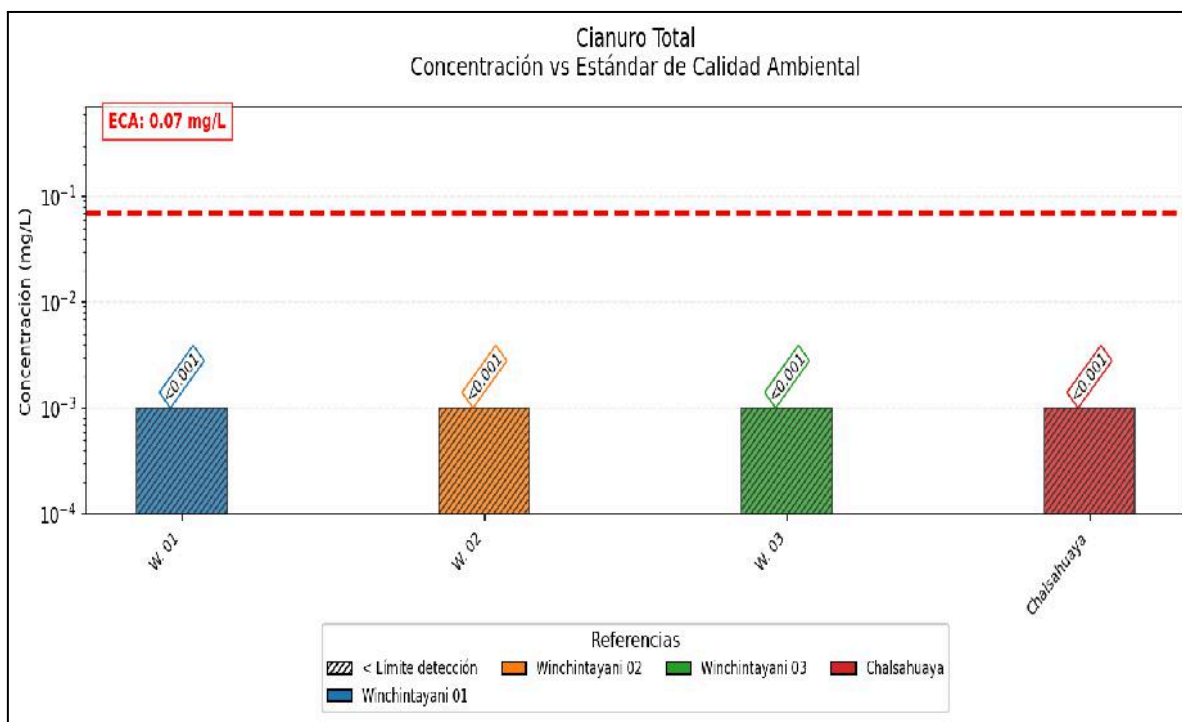


Figura 03: Resultados del análisis fisicoquímico correspondiente al cianuro total.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 5 y la figura 3, en las 4 captaciones el valor del cianuro está por debajo del límite de detección (<0,001), por lo que podemos decir que son muy inferiores al valor establecidos; por lo tanto, está dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es 0,07.mg/L

Cloruros

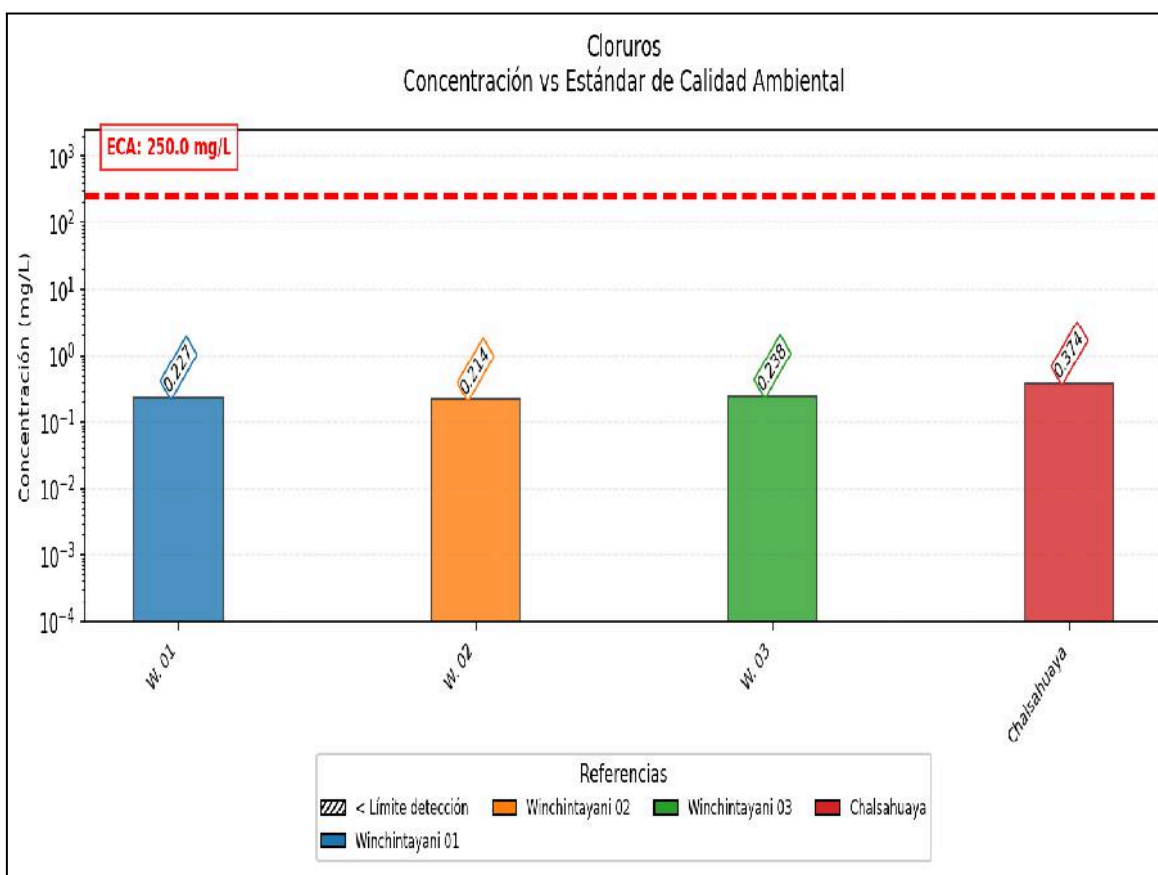


Figura 04: Resultados del análisis fisicoquímico correspondiente a cloruros.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 4 y la figura 4, en las captaciones el valor máximo del cianuro reportado es 0,374 mg/L en la capacitación de Chalsahuaya y el menor valor se encuentra en la captación de Wichintayani 02 con 0,214 mg/L. Por lo que podemos concluir que está dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 250 mg/L.

Color (b)

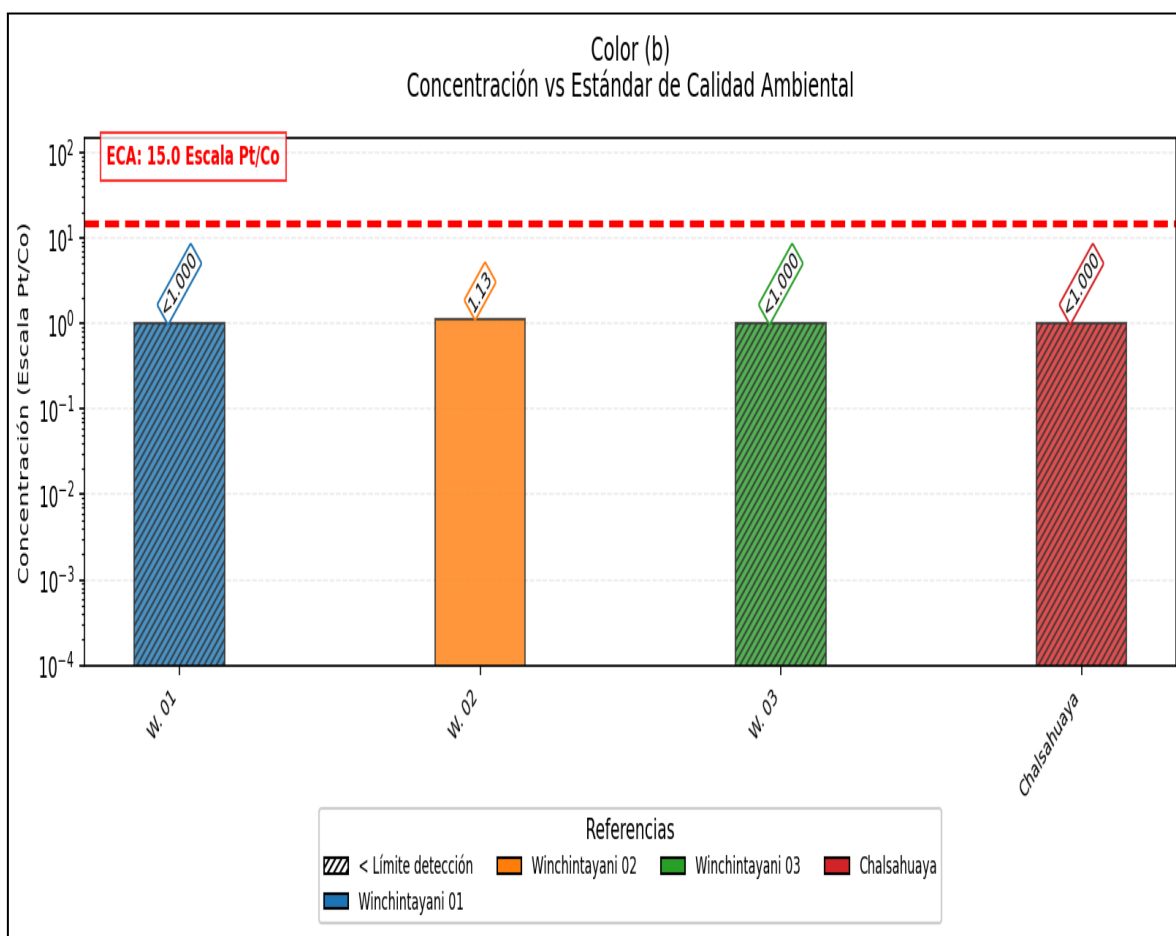


Figura 05: Resultados del análisis fisicoquímico correspondiente al color (b)

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 4 y la figura 5 en las captaciones Winchintayani 01, 03 y Chalsahuaya los valores reportados se encuentran por debajo del límite de medición; en la captación Winchintayani 02 se reportó un valor de 1,13 Escala Pt/Co . Por lo que podemos concluir que está dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 15 Escala pt/Co.

Conductividad

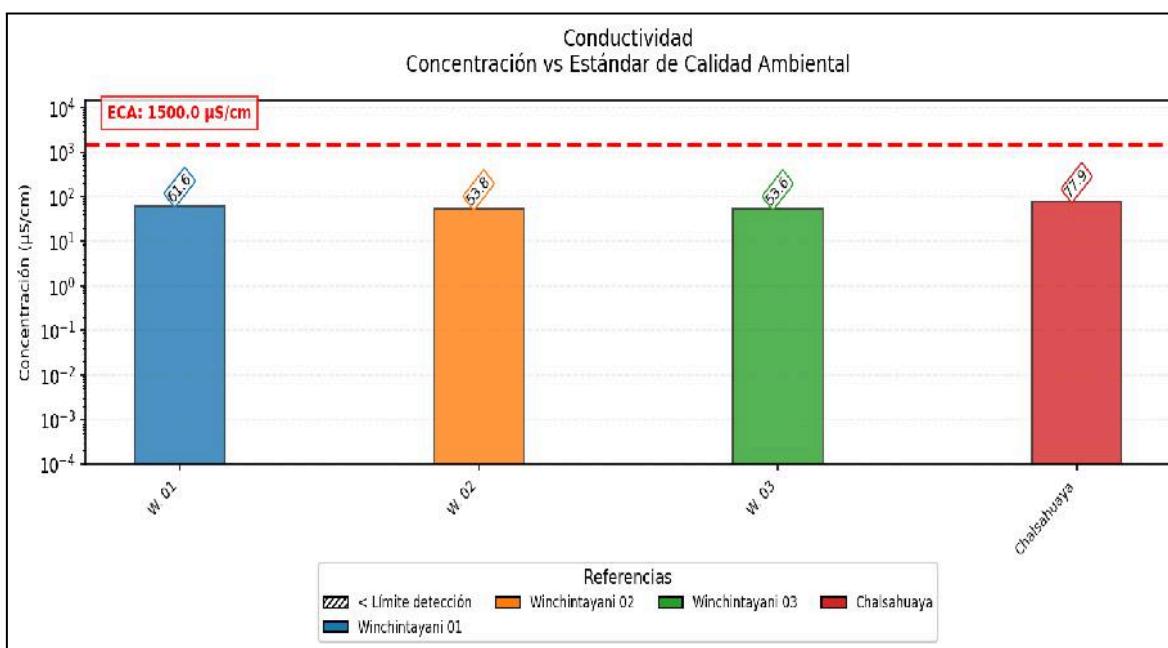


Figura 06: Resultados del análisis fisicoquímico correspondiente a la conductividad.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 4 y la figura 6, en las 4 captaciones el valor del color es de 61,6 µS/cm ; 53,8 µS/cm; 53,6 µS/cm; 77,9 µS/cm.

Por lo que podemos concluir que está dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 1500 µS/cm.

Dureza

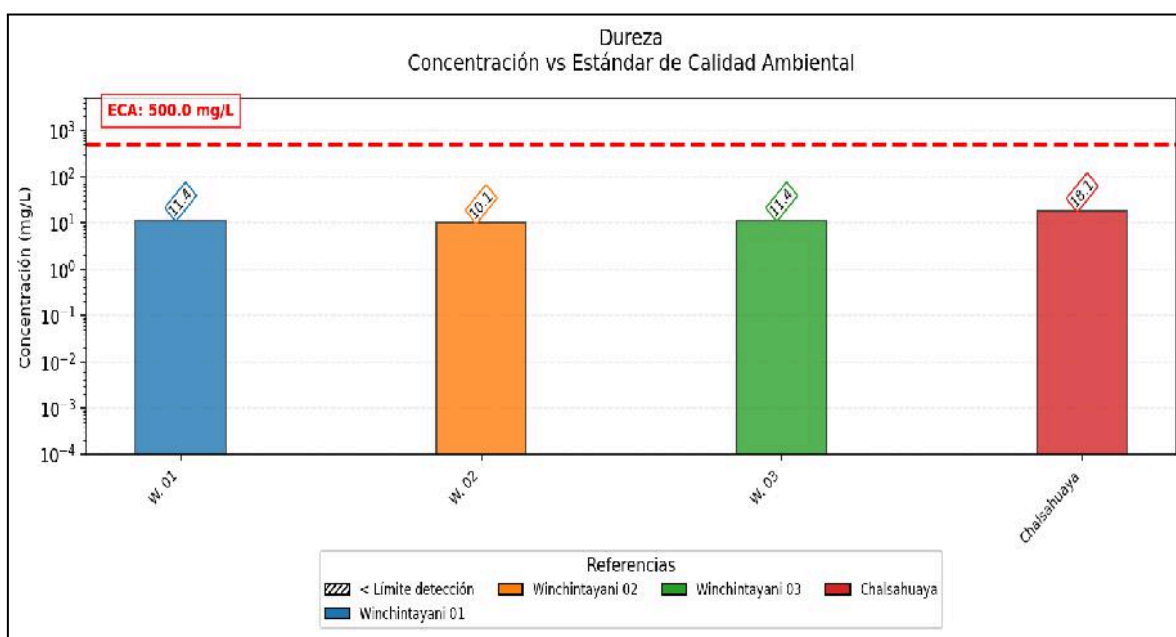


Figura 07: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente a la dureza.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 5 y la figura 7, en las 4 captaciones el valor de la dureza es similar, fluctúa entre 16,1 mg/L en la captación Chalsahuaya y 10,1 mg/L en Wichintayani 02. Por lo que podemos concluir que está dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 500 mg/L.

Fluoruros

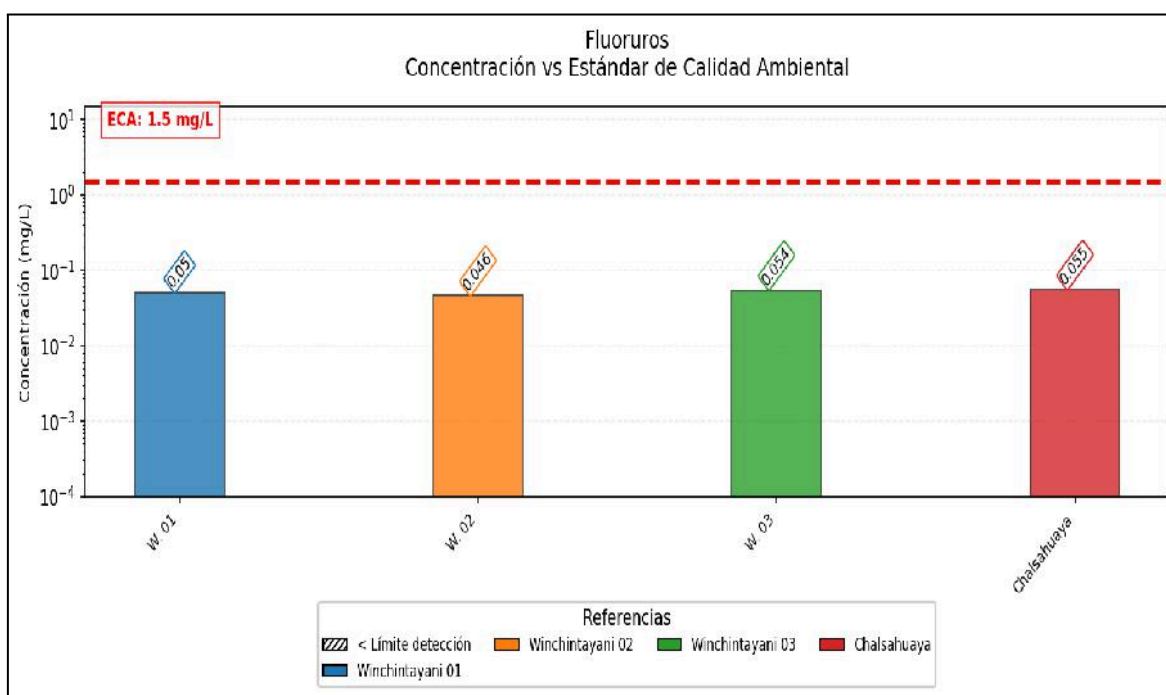


Figura 08: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente a fluoruros.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 4 y la figura 8, en las 4 captaciones el valor del color es de 0.05 mg/L; 0.046 mg/L; 0.054 mg/L; 0.055 mg/L. Por lo que podemos concluir que los niveles son muy inferiores al límite de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 1.5 mg/L.

Nitratos

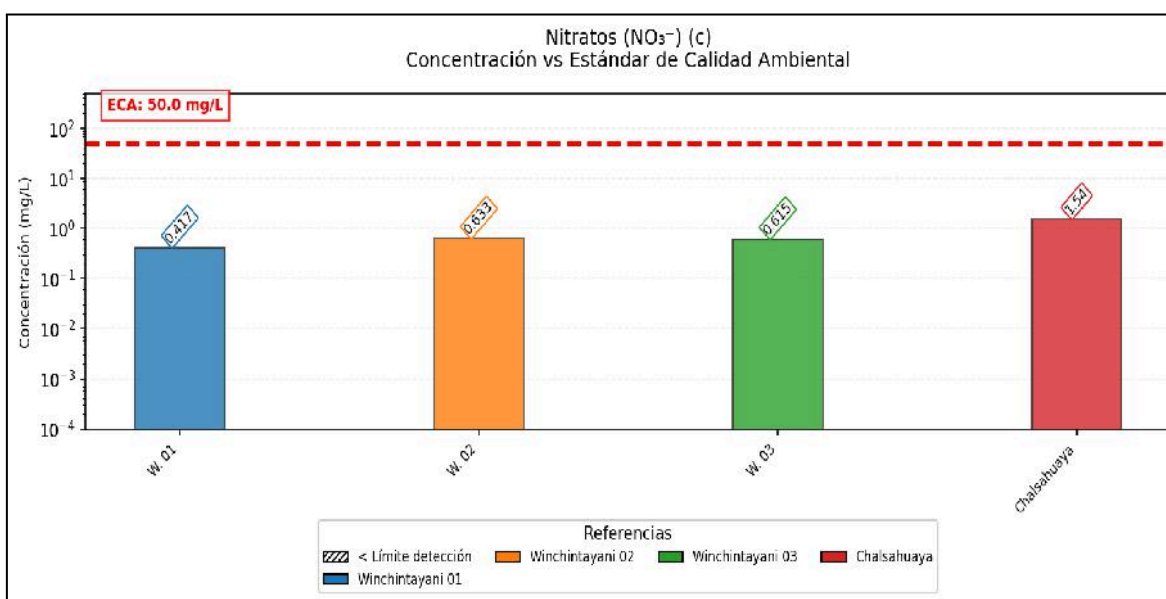


Figura 09: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente a nitratos.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 5 y la figura 9, en las 4 captaciones el valor de los nitratos es de 0.417 mg/L; 0.633 mg/L; 0.615 mg/L; 1.54 mg/L. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 50 mg/L.

Nitritos

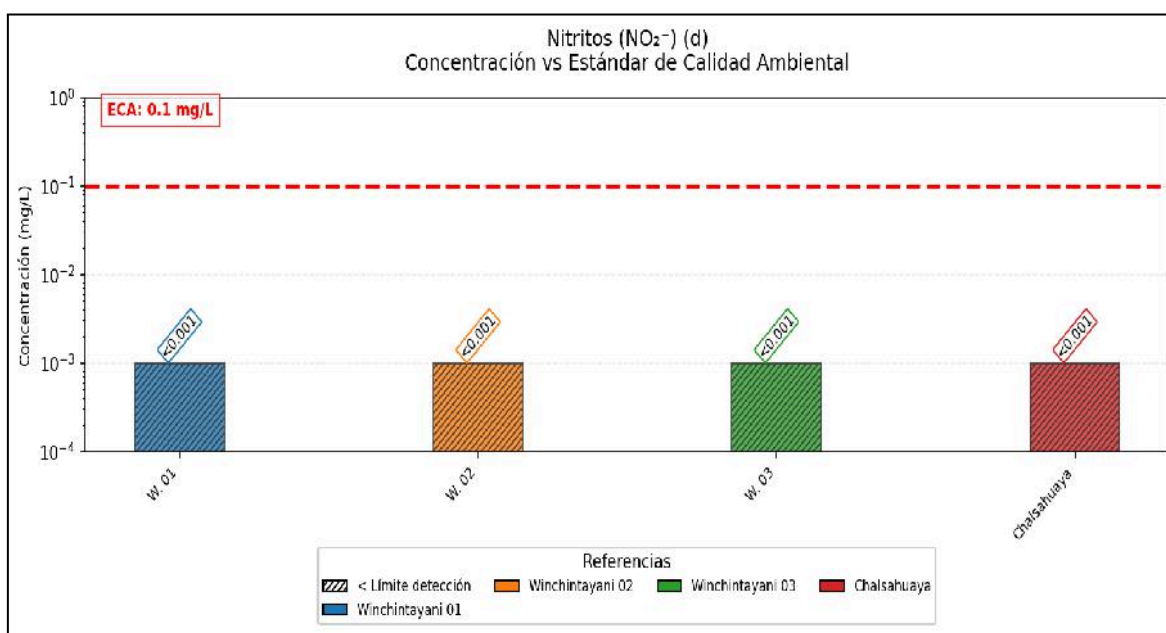


Figura 10: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente a nitritos.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 4 y la figura 10, en las 4 captaciones el valor de los nitritos está por debajo del límite de detección del equipo (<0,001mg/L). Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0.1 mg/L.

Potencial de hidrógeno pH

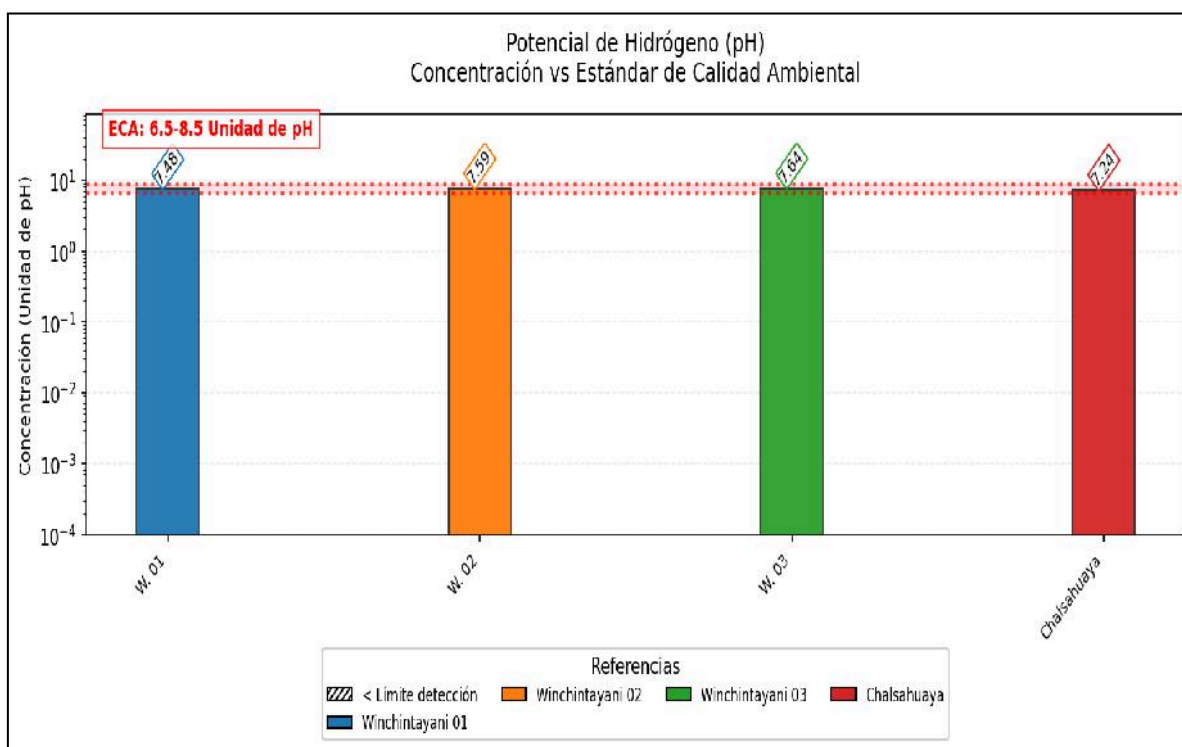


Figura 11: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente al pH.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 4 y la figura 11, en las 4 captaciones el valor del pH es de 7.48; 7.59; 7.64; 7.24. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, el cual indica que debe encontrarse dentro del rango de 6.5-8.5

Medida de acidez $\text{pH} < 7$ o alcalinidad $\text{pH} > 7$ del agua.

Sólidos disueltos

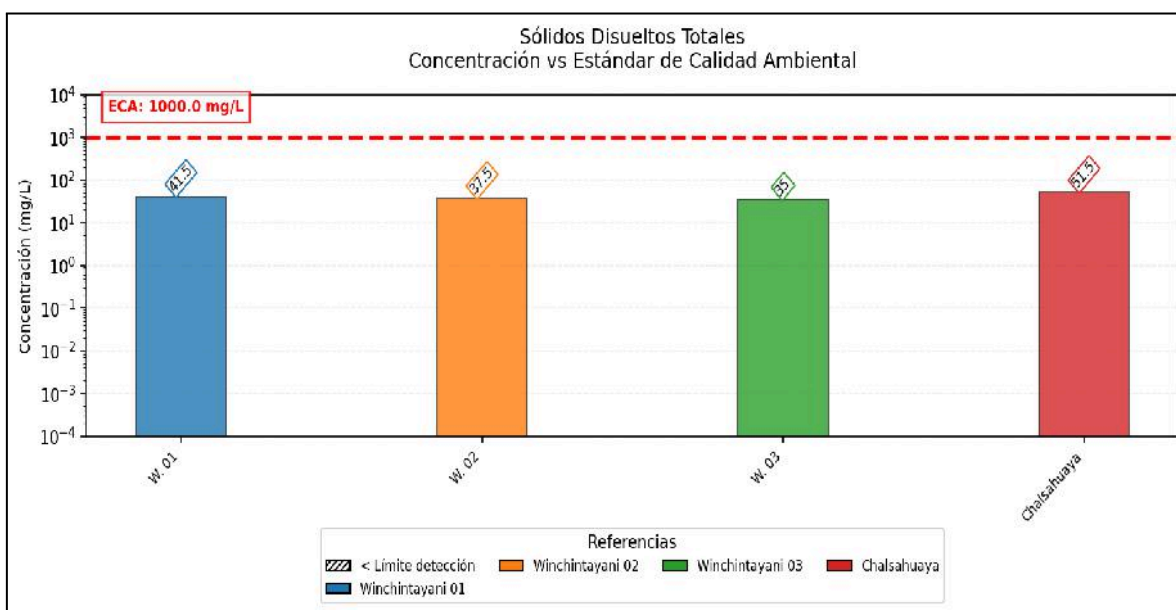


Figura 12: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente a los sólidos disueltos.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 4 y la figura 12, en las 4 captaciones el valor de los sólidos disueltos es de 41,5 mg/l; 37,5 mg/l; 35 mg/l; 51,5mg/l. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 1000 mg/L.

Sulfatos

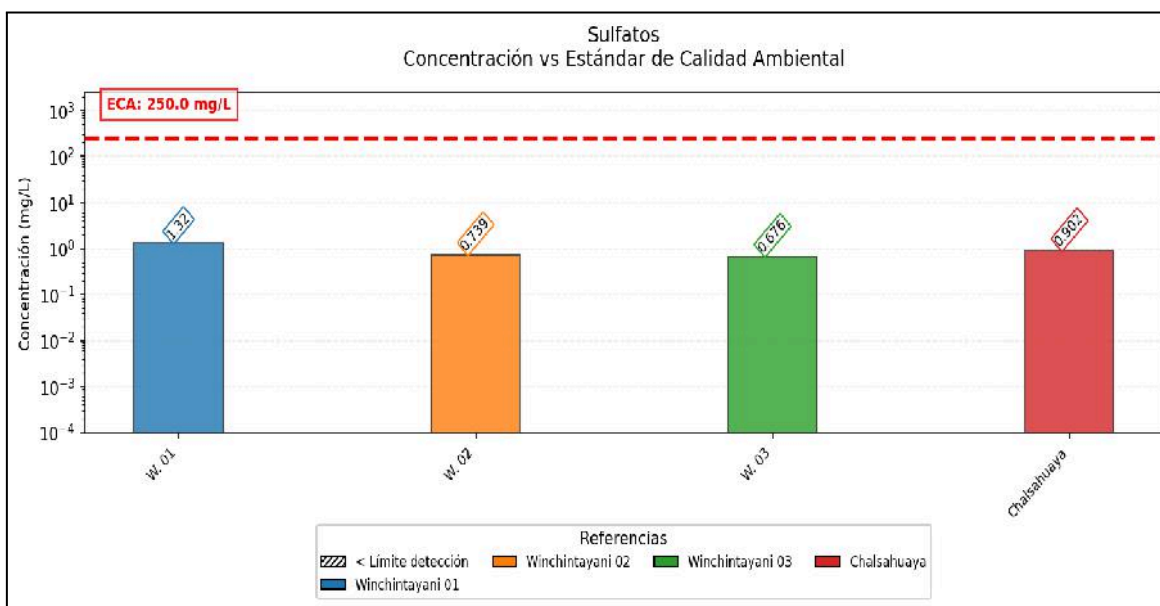


Figura 13: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente a sulfatos.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 4 y la figura 13, en las 4 captaciones el valor de sulfatos es de 1.320mg/L; 0.739 mg/L; 0.676 mg/L; 0.902 mg/L. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 250 mg/L.

Turbidez

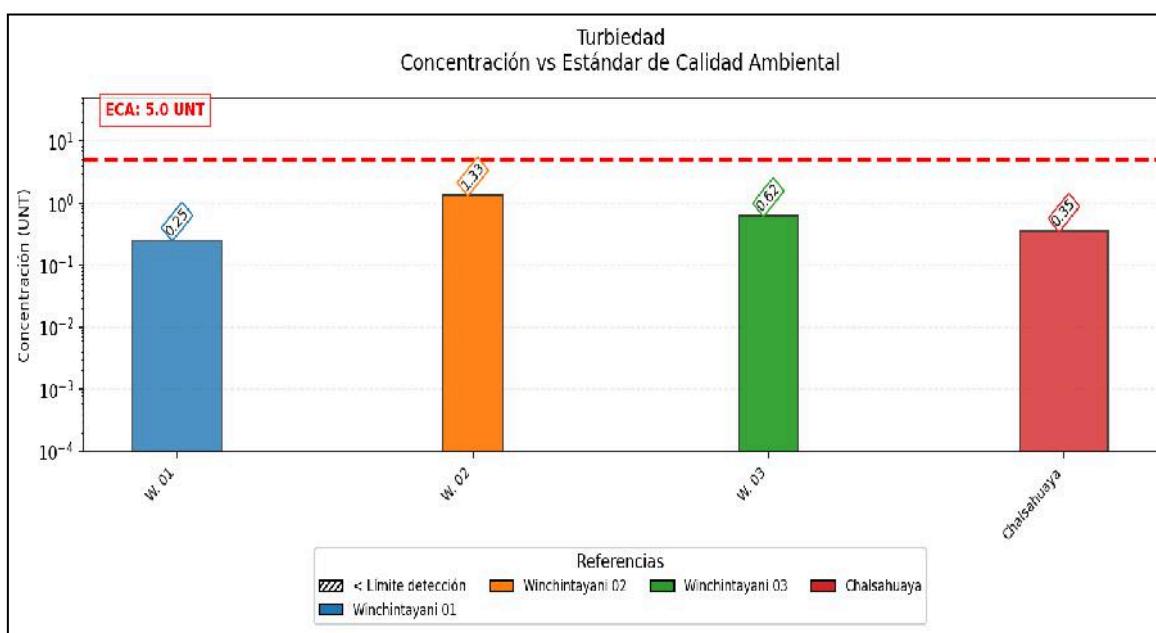


Figura 14: Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico correspondiente a la turbidez.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 4 y la figura 14, en las 4 captaciones el valor de sulfatos es de 0.250; 1.33; 0.62; 0.35. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 5 UNT.

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS RESPECTO AL OBJETIVO ESPECÍFICO SEGUNDO:

Evaluar los parámetros microbiológicos presentes en las captaciones de agua de WINCHINTAYANI 01, 02, 03 y CHALSAHUAYA del distrito de Carumas según el DS. 004-2017-MINAM, “Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias”.

4.2.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Tabla 06: Resultados del análisis de parámetros microbiológicos.

Parámetros	Unidad de medida	EC A	WICHINTAY ANI 01	WICHINTA YANI 02	WICHINTA YANI 03	CHALSAH UAYA
Coliformes termotolerantes	NMP/100m L	20	<1,8	2,0	<1,8	<1,8
Coliformes totales	NMP/100m L	50	<1,8	23	<1,8	<1,8
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100m L	0	<1,8	2,0	<1,8	<1,8
Formas parasitarias	N° Organismo s/L	0	<1	<1	<1	<1
Organismos de vida libre	N° Organismo s/L	0	2	1	<1	1

Nota. Elaborado a partir del informe de ensayo N° 2-00354/25 y el anexo del DS 004-2017-MINAM. El símbolo < indica un valor por debajo del límite de detección del equipo o del método.

En la tabla 6 se detalla cada parámetro analizado en las captaciones de agua Winchintayani 01, Winchintayani 02, Winchintayani 03 y Chalsahuaya, en las cuales se puede observar que los resultados obtenidos de los parámetros microbiológicos de coliformes termotolerantes y coliformes totales de las 4 captaciones se encuentran dentro del límite permisible del ECA; por otro lado, los parámetros de *Escherichia coli* sobrepasan los valores en la captación Winchintayani 02, de igual manera los parámetros microbiológicos organismos de vida libre sobrepasan los valores establecidos en el ECA en winchintayani 01 Organismos/L, Winchintayani 02 1 Organismos/L, Chalsahuaya 1

Organismos/L siendo la única captación que cumple con el ECA la de Wichintayani 03 que reporta niveles por debajo del límite de detección <1 Organismos/L

Coliformes termotolerantes

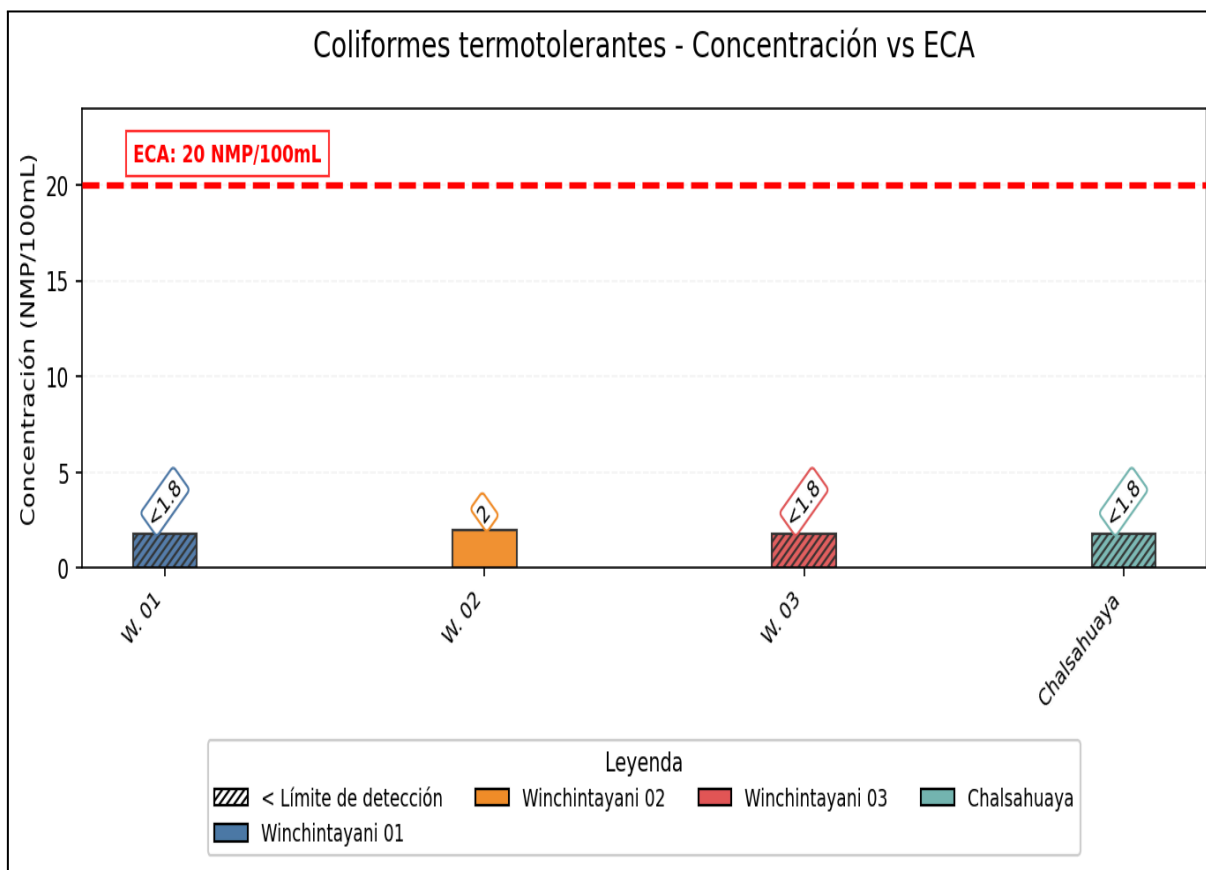


Figura 15: Resultados de laboratorio de coliformes termotolerantes.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 6 y la figura 15, las captaciones Wichintayani 01, 03 y Chalsahuaya reportan valores por debajo del límite de detección (<1,8 NMP/100ml). En el caso de la captación Wichintayani 02 reportó 2 NMP/100 mL. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 20 NMP/100 mL.

Coliformes totales

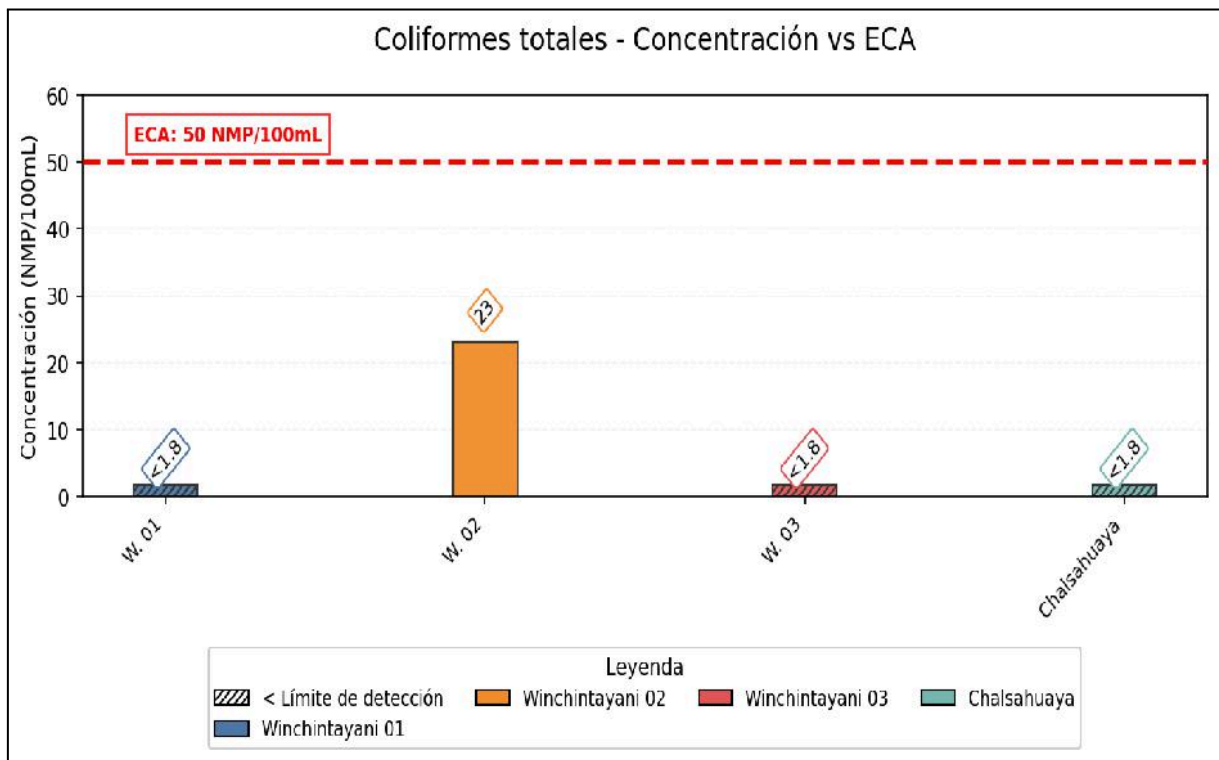


Figura 16: Resultados de laboratorio de coliformes totales.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 6 y la figura 16, en la captación Winchintayani 02 el valor de los coliformes totales es de 23,0 NMP/100 mL; en las captaciones Winchintayani 01, 03 y Chalsahuaya, los resultados se encuentran por debajo del límite de detección (<1.8 NMP/100 mL). Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 50 NMP/100 mL.

Escherichia coli

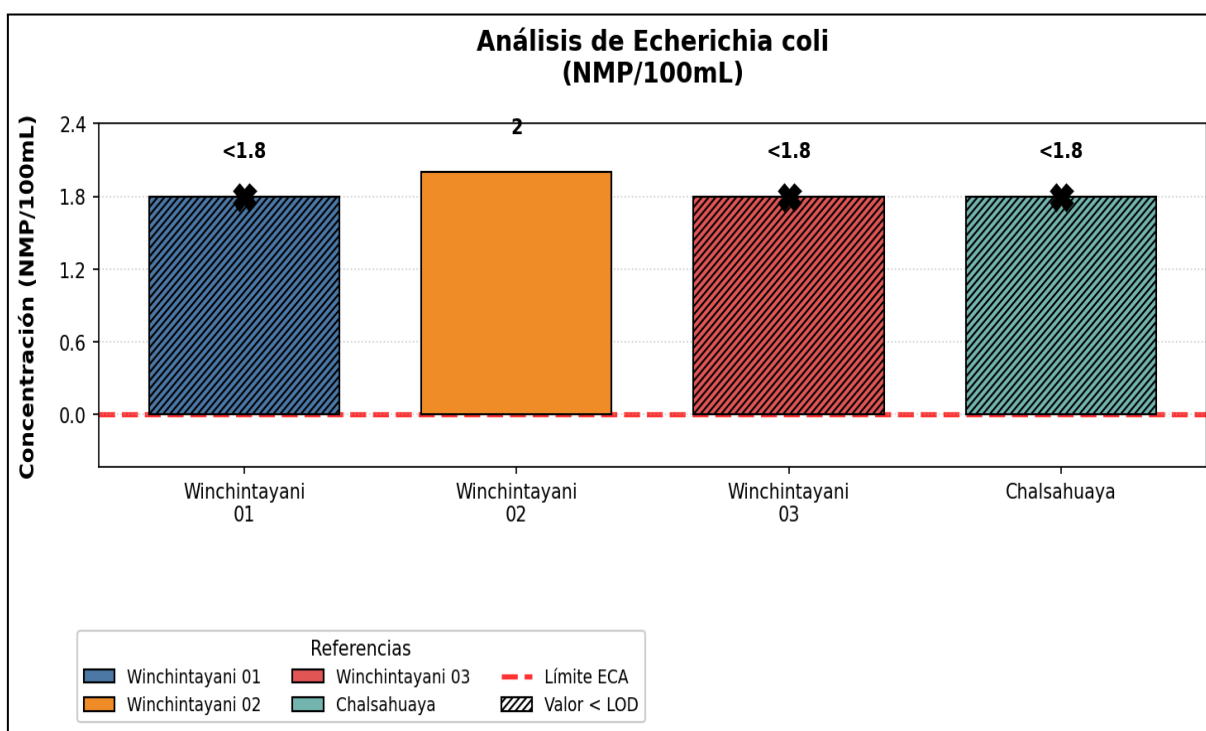


Figura 17: Resultados de laboratorio de Escherichia coli.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 6 y la figura 17, en las captaciones Wichintayani 01, 03 y Chalsahuaya, los valores reportados se encuentran por debajo del límite de detección (<1,8 NMP/100mL). Caso contrario, en la captación Wichintayani 02 se reporta que el valor de *Escherichia coli* es de 2.0 NMP/100 mL. Por lo que podemos concluir que los valores sobrepasan los límites de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0 NMP/100 mL.

Formas parasitarias

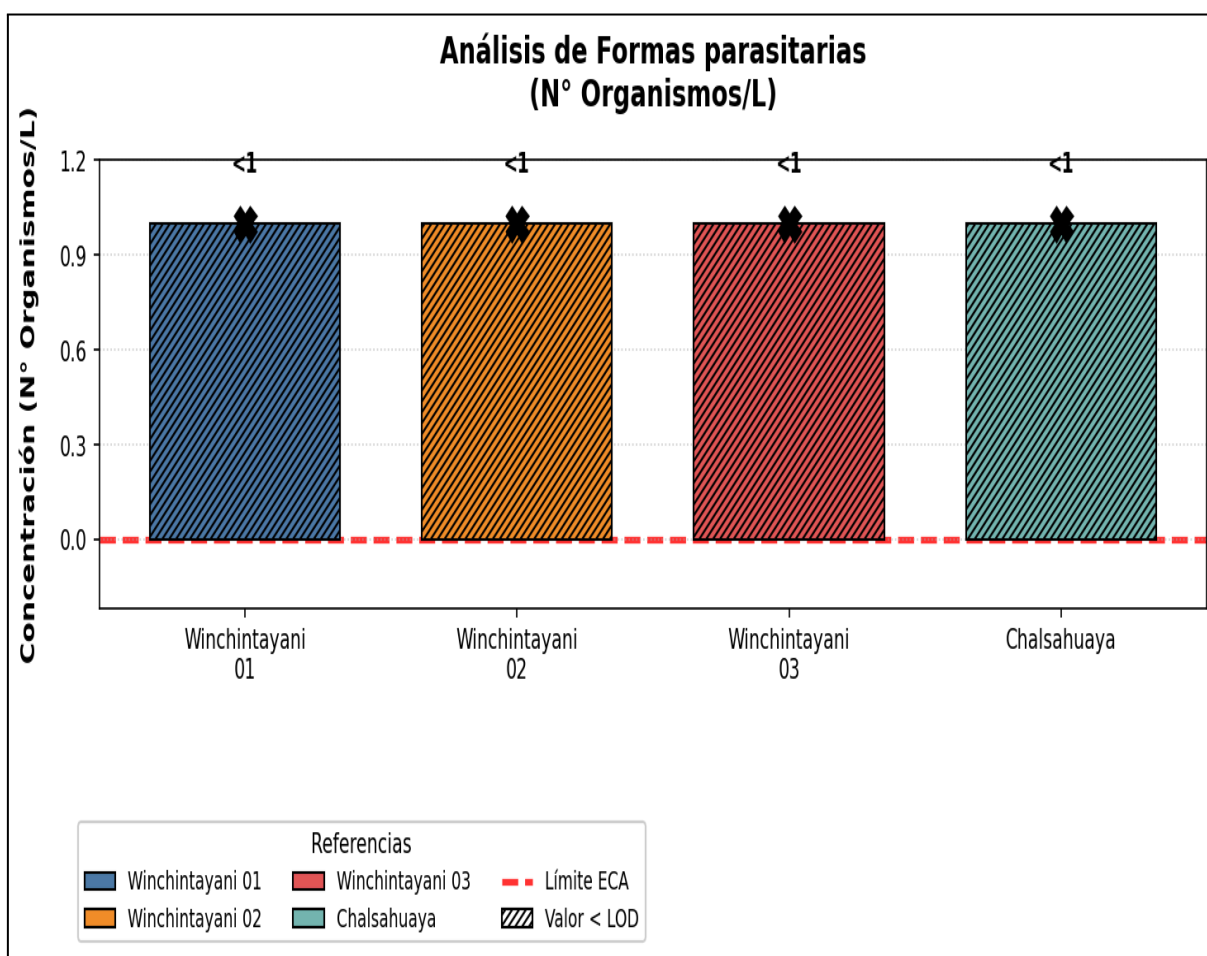


Figura 18: Resultados de laboratorio de formas parasitarias.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 6 y figura 18, en las 4 captaciones se reportan valores por debajo del límite de detección del equipo (<1,0 N° organismos/L) , lo que implica que estarían cumpliendo con los valores establecidos en el ECA.

Formas de vida libre

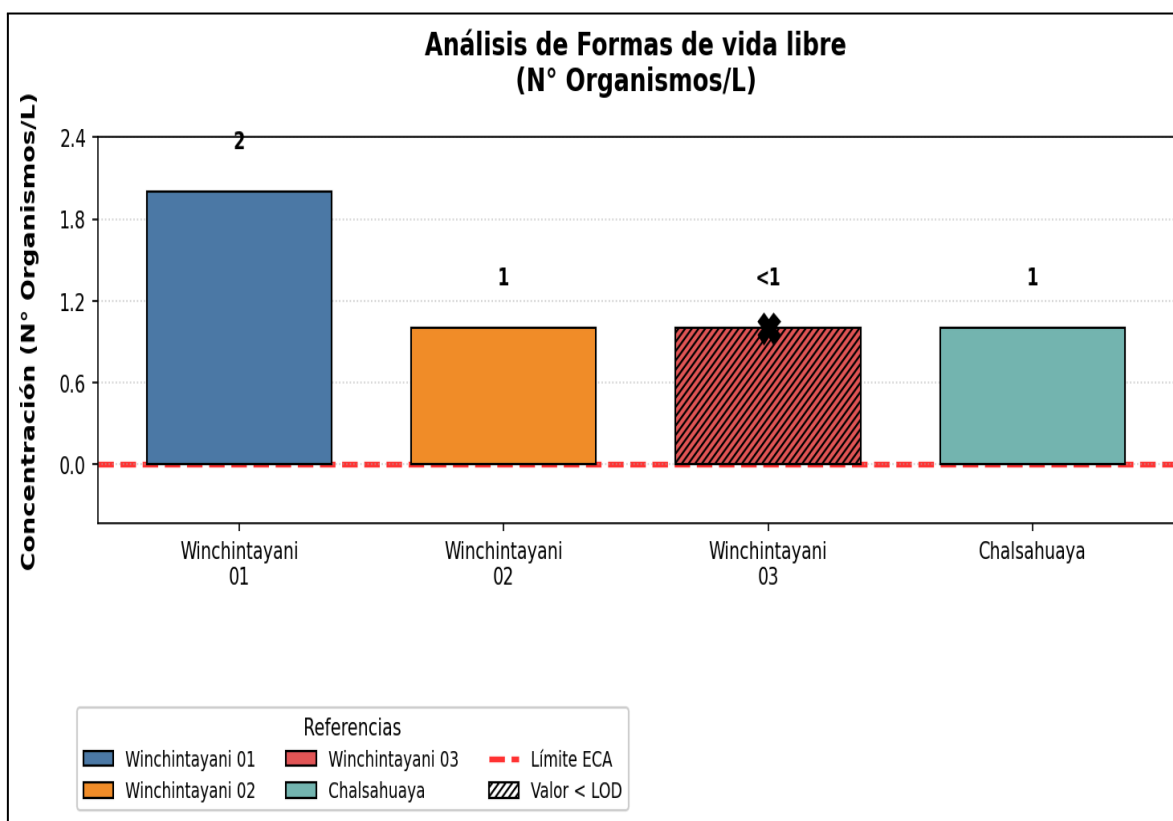


Figura 19: Resultados de laboratorio de organismos de vida libre.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 6 y figura 19, en la captación Wichintayani 03 se tiene un resultado por debajo del límite de detección (<1,0 N° organismos/L); en las captaciones Wichintayani 01 se reportan valores de 2 organismos/L, en Wichintayani 02 y Chalsahuaya reportan 1 organismo/L, lo que contraviene lo dispuesto en el ECA correspondiente.

4.3. RESULTADOS OBTENIDOS RESPECTO AL OBJETIVO ESPECÍFICO TERCERO:

Determinar la concentración de parámetros inorgánicos de metales pesados en las captaciones WINCHINTAYANI 01, 02, 03 y CHALSAHUAYA del distrito de Carumas según el DS 004-2017-MINAM, "Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias".

4.3.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS INORGÁNICO: METALES PESADOS

Tabla 07: Resultados del análisis de parámetros inorgánicos: metales pesados.

Parámetros	Unidad de medida	ECA	Wichintayani			Chalsahuaya
			01	02	03	
Aluminio (Al)	mg/L	0,9	<0,003	<0,003	0,005	<0,003
Antimonio (Sb)	mg/L	0,02	<0,00007	<0,00007	<0,00007	<0,00007
Arsénico (As)	mg/L	0,01	0,00042	0,00028	0,00022	0,00017
Bario (Ba)	mg/L	0,7	0,04234	0,03552	0,06026	0,13491
Boro (B)	mg/L	2,4	0,019	0,018	0,020	0,024
Cadmio (Cd)	mg/L	0,003	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Cobre (Cu)	mg/L	2	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Cromo (Cr)	mg/L	0,05	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,00043
Hierro (Fe)	mg/L	0,3	<0,00009	0,12517	0,00018	<0,00009
Manganeso (Mn)	mg/L	0,4	<0,00006	0,0060	<0,00006	<0,00006
Mercurio (Hg)	mg/L	0,001	<0,000003	<0,00003	<0,00003	<0,00003

Molibdeno (Mo)	mg/L	0,07	0,00051	0,00044	0,00033	0,00019
Niquel (Ni)	mg/L	0,07	<0,00002	<0,00002	<0,00002	<0,00002
Plomo (Pb)	mg/L	0,01	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Selenio (Se)	mg/L	0,04	<0,00006	<0,00006	<0,00006	<0,00006
Uranio (U)	mg/L	0,02	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Zinc (Zn)	mg/L	3	0,00008	0,00029	0,00034	<0,00004

Nota. Elaborado a partir del informe de ensayo N° 2-00354/25 y el anexo del DS 004-2017-MINAM. El símbolo < indica un valor por debajo del límite de detección del equipo o del método.

En la tabla 7 se detalla cada parámetro analizado en las captaciones de agua Winchintayani 01, Winchintayani 02, Winchintayani 03 y Chalsahuaya, en las cuales se puede observar que todos los resultados obtenidos de los parámetros de metales pesados de las 4 captaciones se encuentran dentro de los estándares establecidos por el ECA del agua.

Aluminio

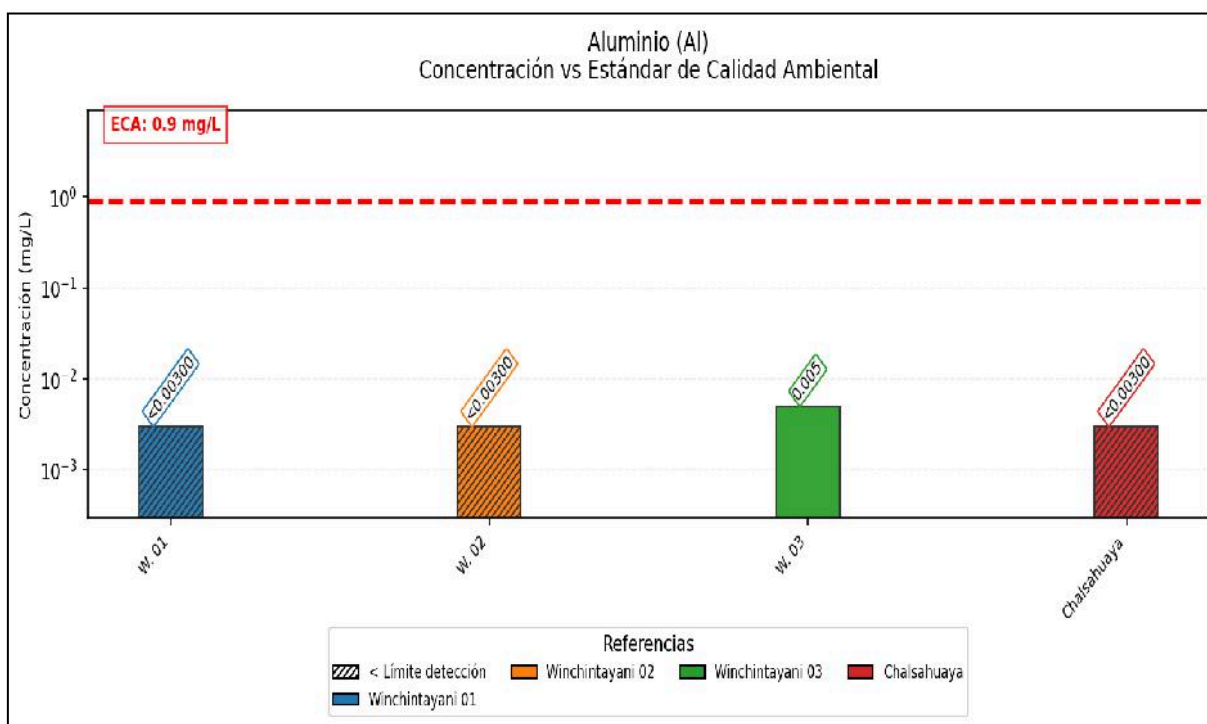


Figura 20: Resultados de laboratorio de aluminio.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 20, las captaciones Wichintayani 01, Wichintayani 02 y Chalsahuaya presentan valores que se encuentran por debajo del límite de detección <0,003; la captación Wichantayani 03 presenta un valor de 0.005 mg/L, por lo que podemos decir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0.9 mg/L.

Antimonio

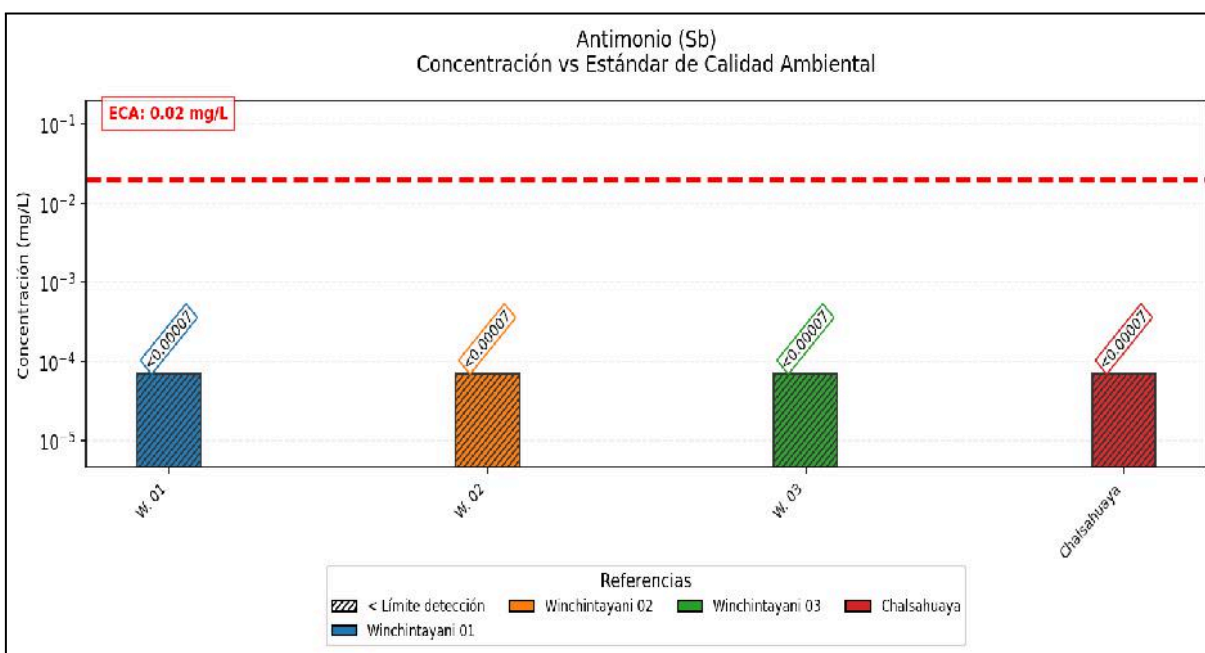


Figura 21: Resultados de laboratorio de antimonio.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 21, en las 4 captaciones los valores de antimonio reportados están por debajo del límite de detección <0,0007. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0.02 mg/L.

Arsénico

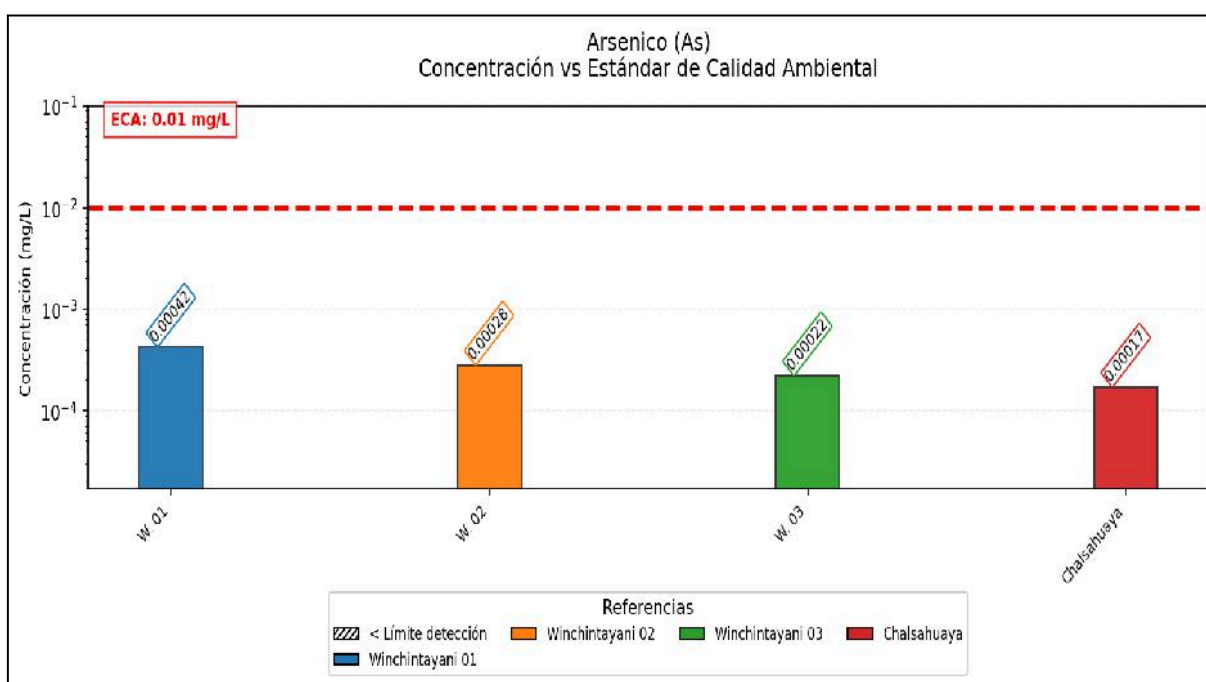


Figura 22: Resultados de laboratorio de arsénico.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 22, en las 4 captaciones el valor del arsénico es de 0,00042 mg/L para Wichintayani 01; 0,00028 mg/L para Wichintayani 02; 0,00022 mg/L para Wichintayani 03 y 0,00017 mg/L para Chalsahuaya. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0.01 mg/L.

Bario

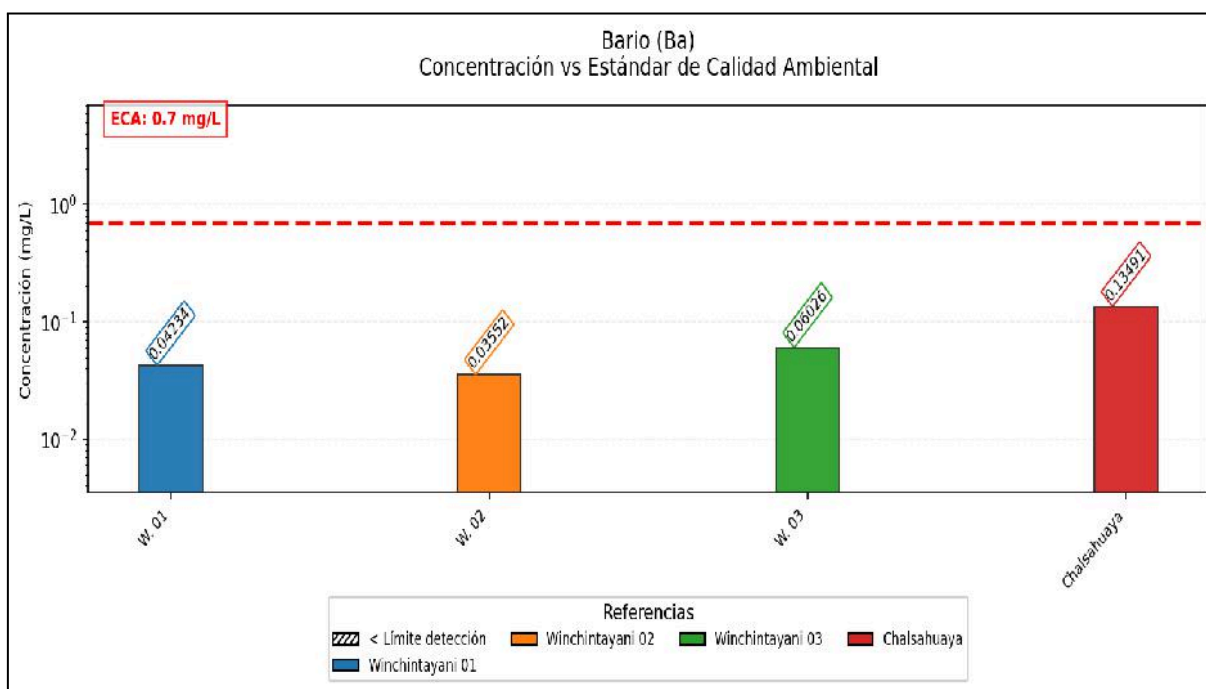


Figura 23: Resultados de laboratorio de bario.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 23, en las 4 captaciones el valor del bario es de 0,04234 mg/L para Wichintayani 01; 0,03552 mg/L para Wichintayani 02; 0,06026 mg/L para Wichintayani 03; 0,13491 mg/L para Chalsahuaya. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0.7 mg/L.

Boro.

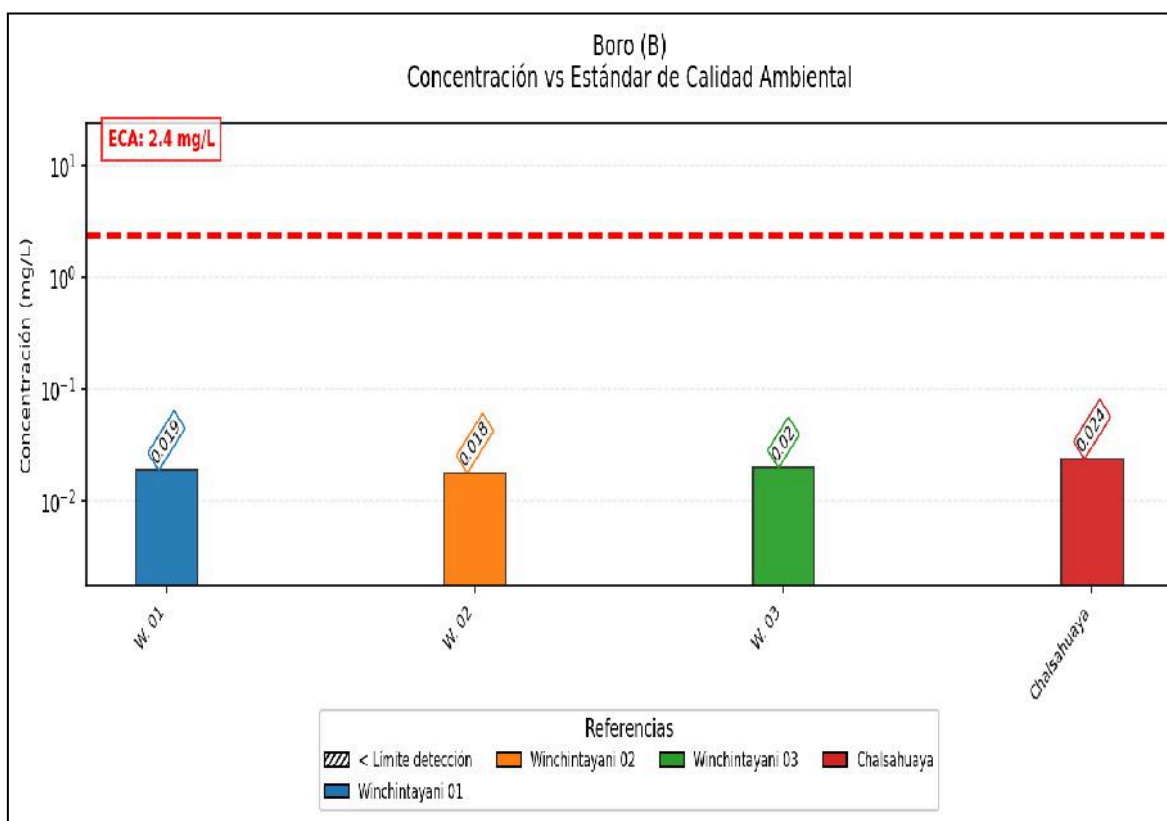


Figura 24: Resultados de laboratorio de boro.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 24, en las 4 captaciones el valor del boro es de 0,019 mg/L para Wichintayani 01; 0,018 mg/L para Wichintayani 02; 0,02 mg/L para Wichintayani 03; 0,024 mg/L para Chalsahuaya. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 2.4 mg/L

Cádmio

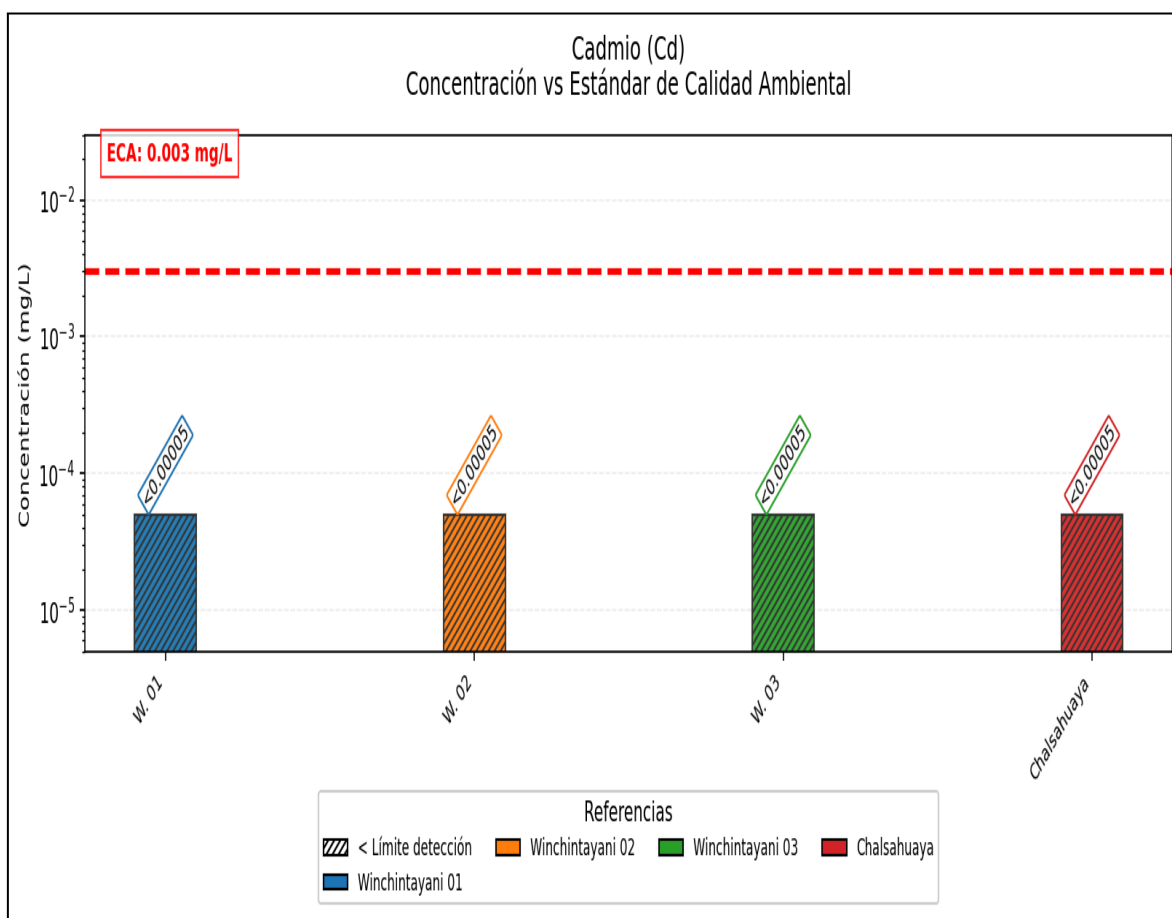


Figura 25: Resultados de laboratorio de cadmio.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 25, en las 4 captaciones el valor del cadmio está por debajo del límite de detección (<0,00005 mg/L). Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0.003 mg/L.

Cobre

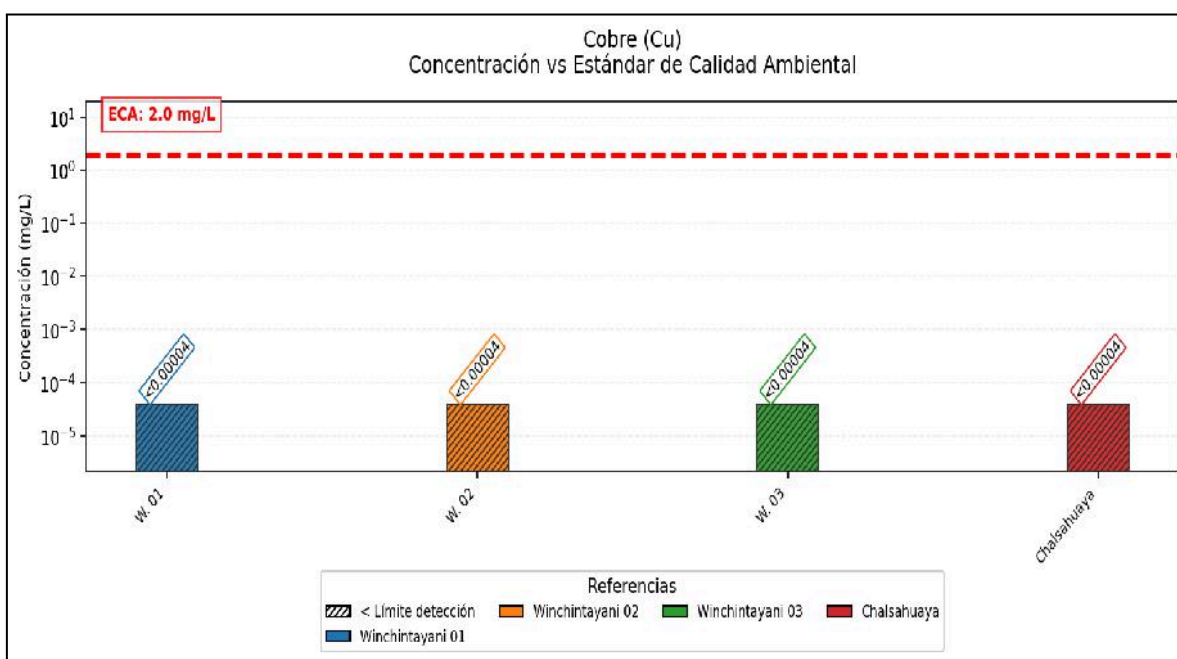


Figura 26: Resultados de laboratorio de cobre.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 26, en las 4 captaciones el valor del cobre está por debajo del límite de detección (<0.00004 mg/L). Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 2.0 mg/L.

Cromo

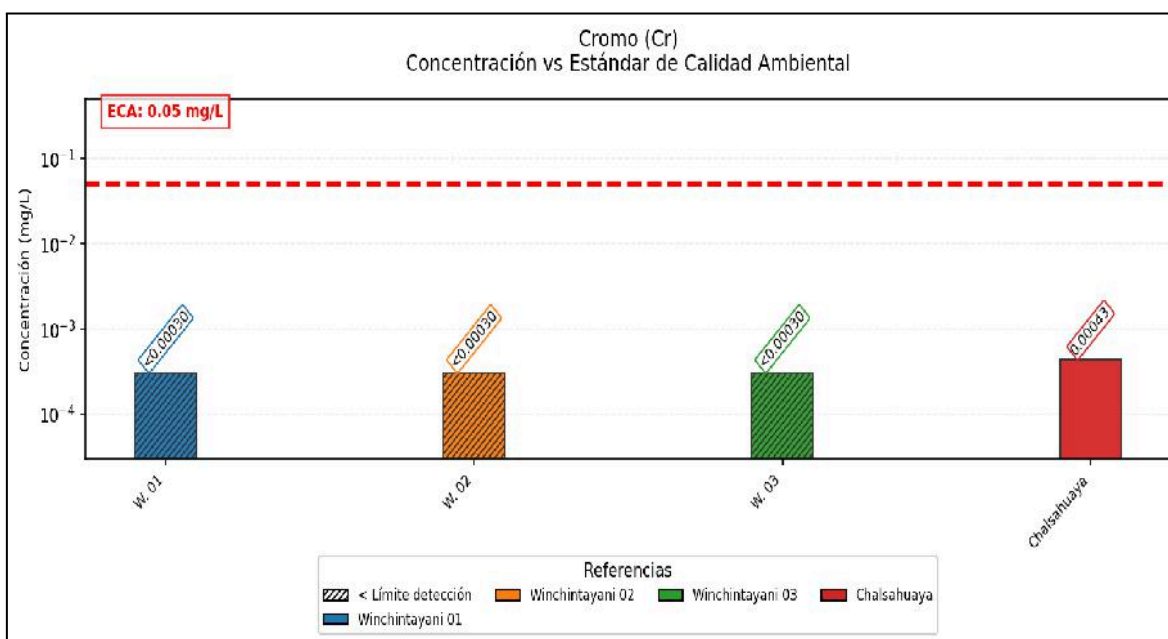


Figura 27: Resultados de laboratorio de cromo.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 27, en las captaciones Wichintayani 01, 02 y 03 los valores reportados se encuentran por debajo del límite de detección (<0.00030 mg/L), en la captación de Chalsahuaya se reporta 0,00043 mg/L. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0.05 mg/L.

Hierro

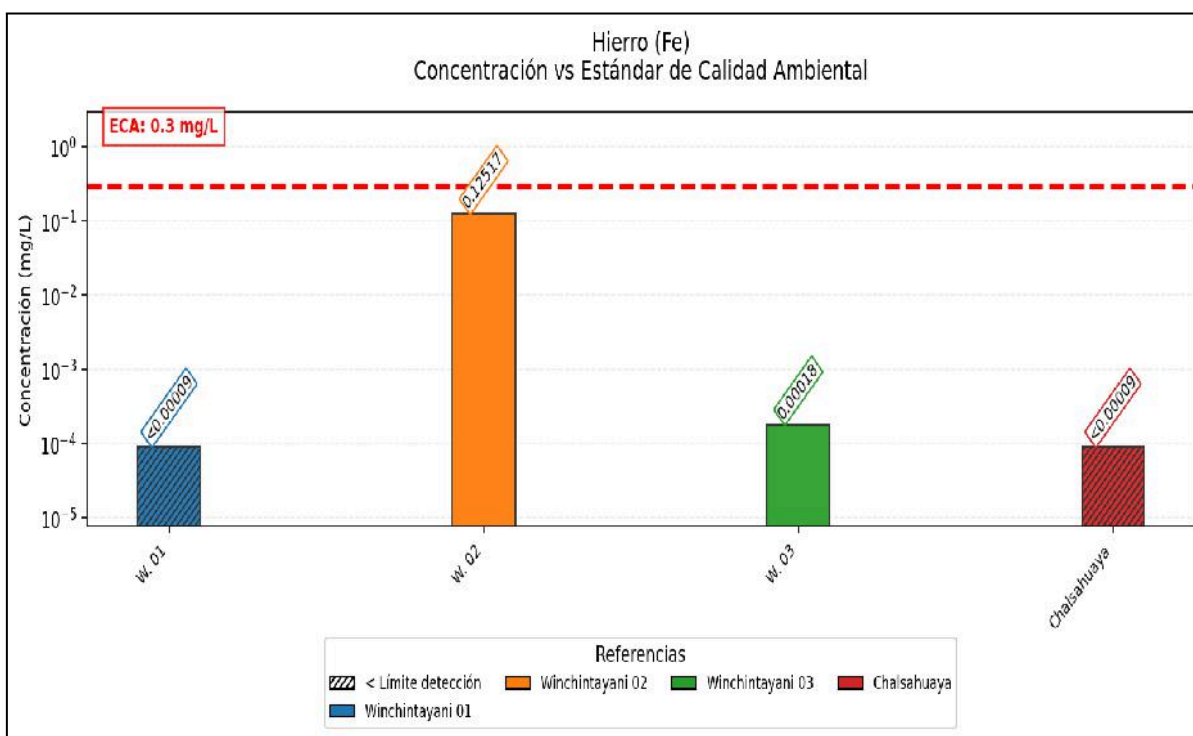


Figura 28: Resultados de laboratorio de hierro.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 28, en las captaciones, el valor del hierro para Wichintayani 01 y Chalsahuaya se encuentra por debajo del límite de detección (<0,00009 mg/L); 0,12517 mg/L para Wichintayani 02; 0,00018 mg/L para Wichintayani 03. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0,3 mg/L.

Manganeso

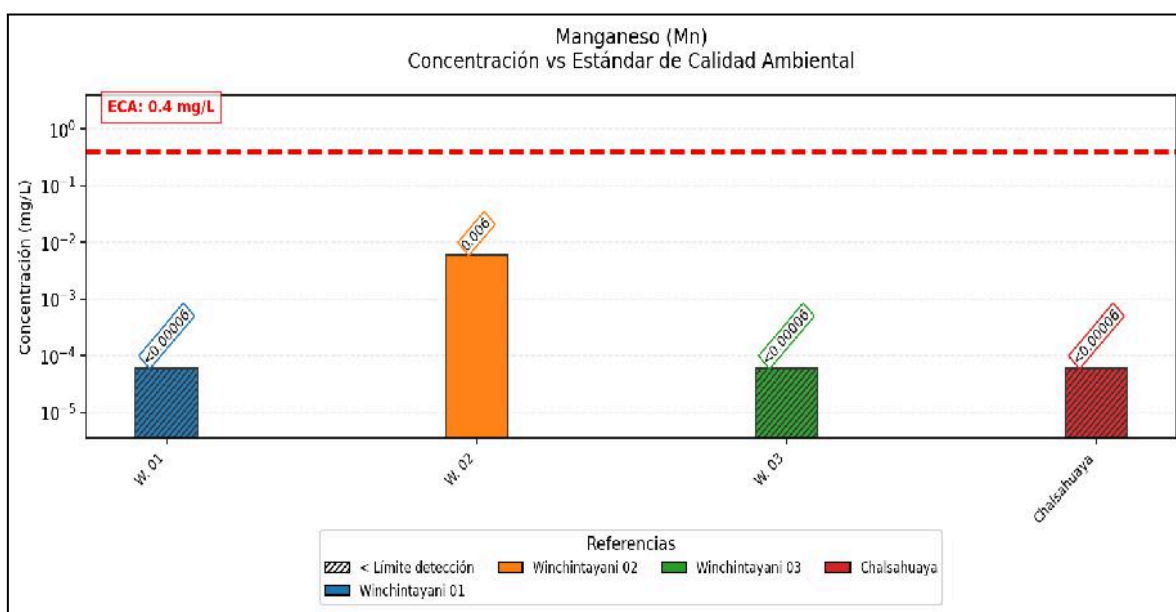


Figura 29: Resultados de laboratorio de manganeso.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 29, en las captaciones Wichintayani 01, 03 y Chalsahuaya se reportó que el valor del manganeso está por debajo del límite de detección (<0.00006 mg/L), para la captación Wichintayani 02; 0.006 mg/L. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0.4 mg/L.

Mercurio

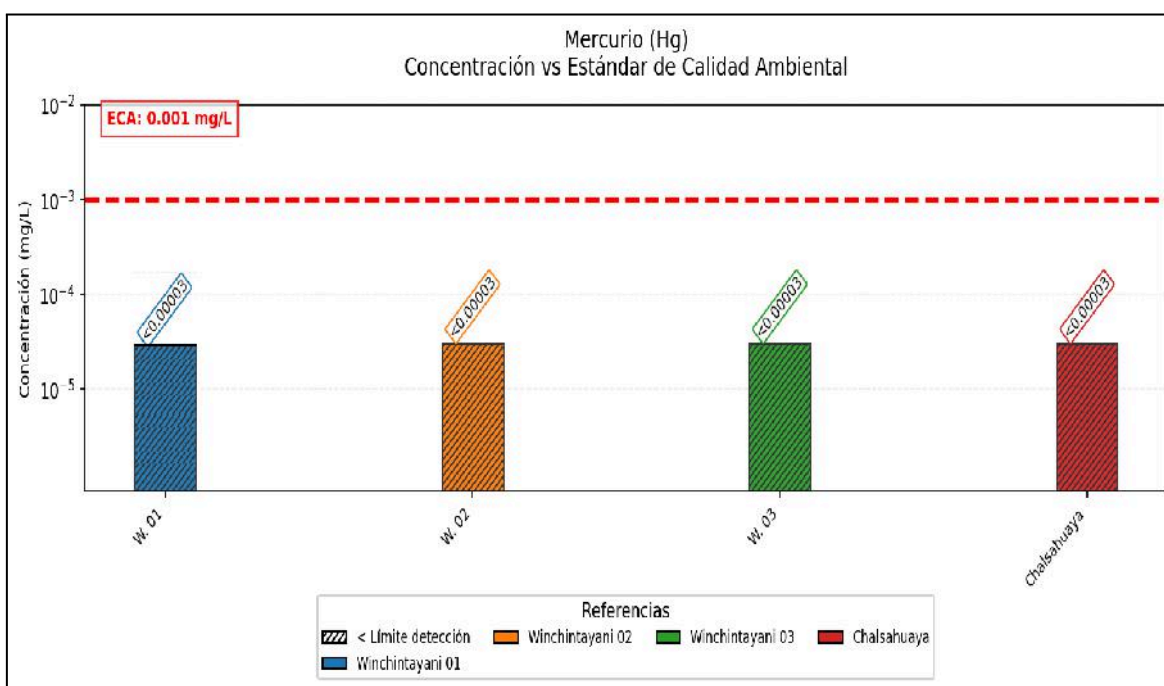


Figura 30: Resultados de laboratorio de mercurio.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 30, en las 4 captaciones el valor del mercurio está por debajo del límite de detección (<0.00003 mg/L). Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0.001 mg/L.

Molibdeno

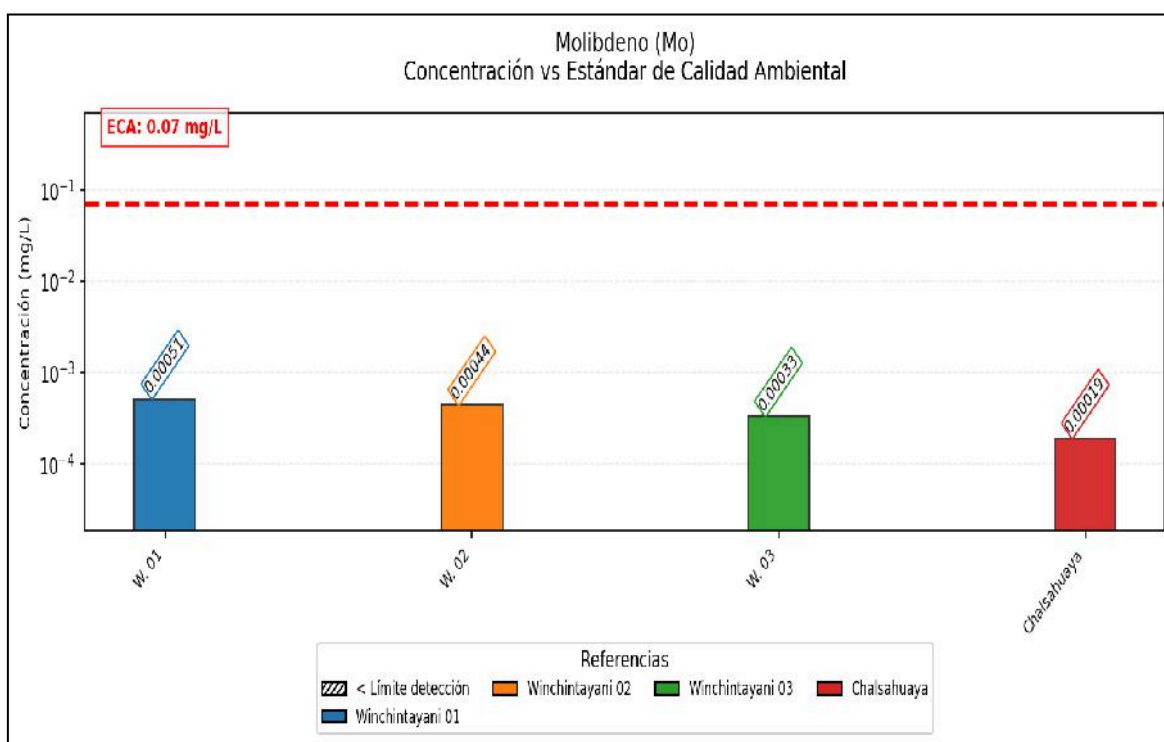


Figura 31: Resultados de laboratorio de molibdeno.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 31, se reportan los siguientes valores para molibdeno: 0.0051 mg/L para Wichintayani 01; 0.00044 mg/L para Wichintayani 02; 0.00033 mg/L para Wichintayani 03; 0.00019 mg/L para Chalsahuaya. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0.07 mg/L.

Níquel

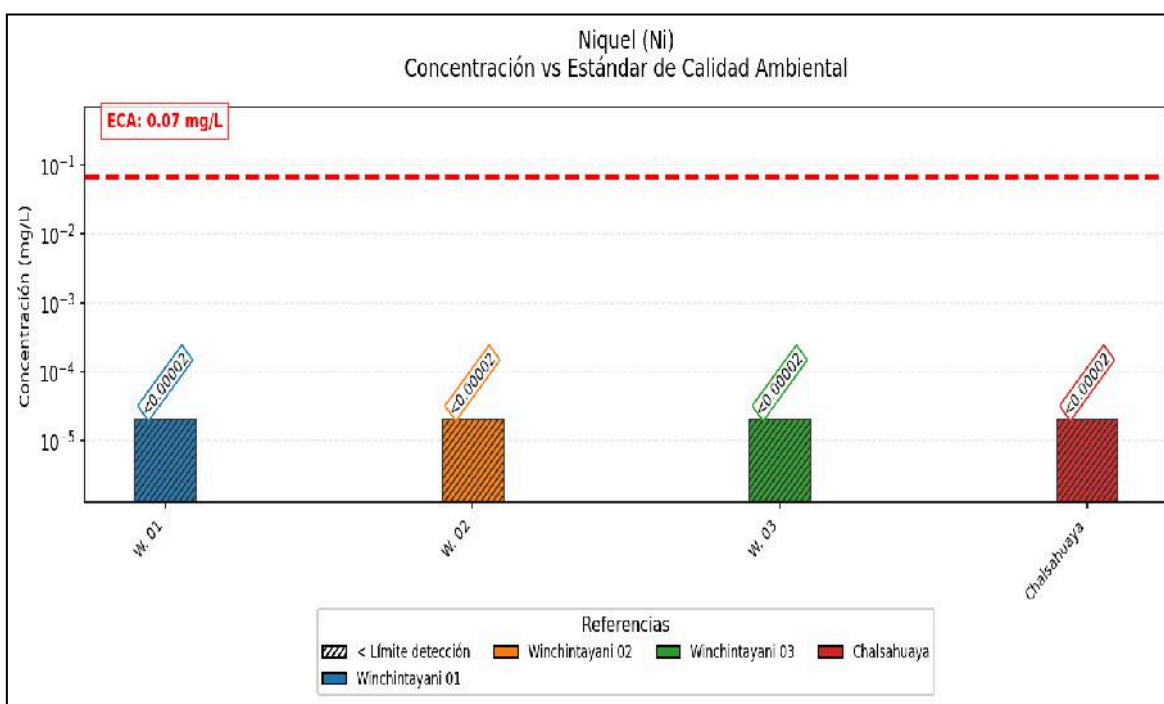


Figura 32: Resultados de laboratorio de níquel.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 32, en las 4 captaciones, los valores de níquel reportados se encuentran por debajo del límite de detección del equipo (<0.00002 mg/L). Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0.07 mg/L.

Plomo

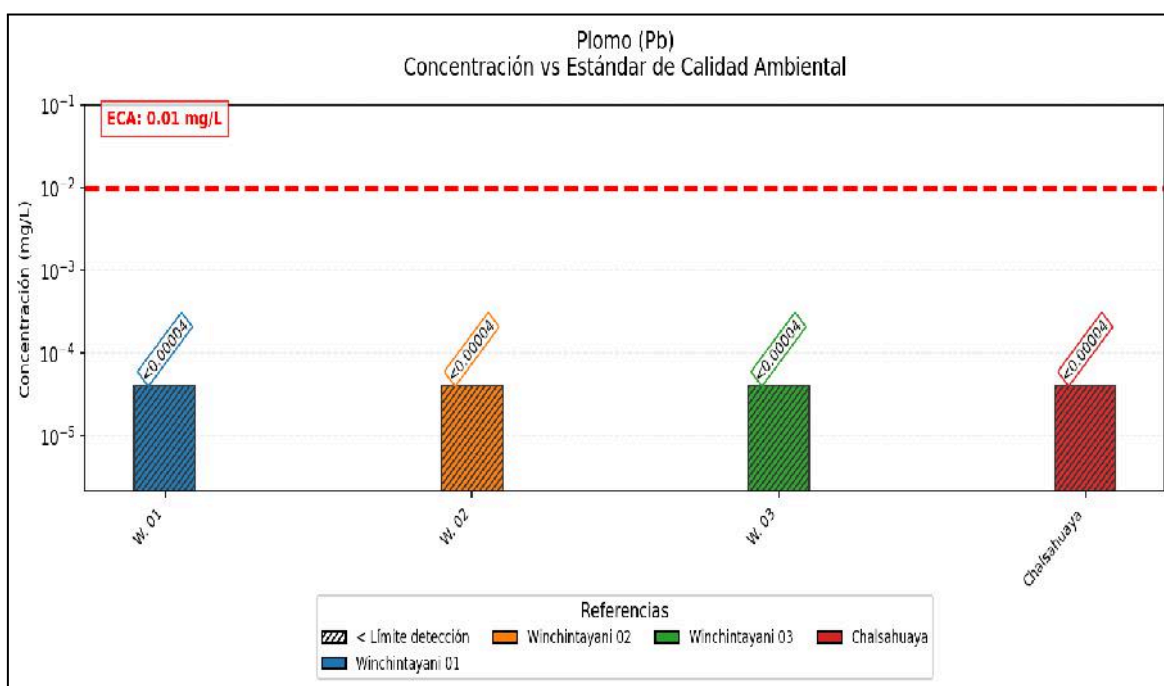


Figura 33: Resultados de laboratorio de plomo.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 33, en las 4 captaciones el valor reportado del plomo se encuentra por debajo del límite de detección (<0.00004 mg/L). Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0.01 mg/L.

Selenio

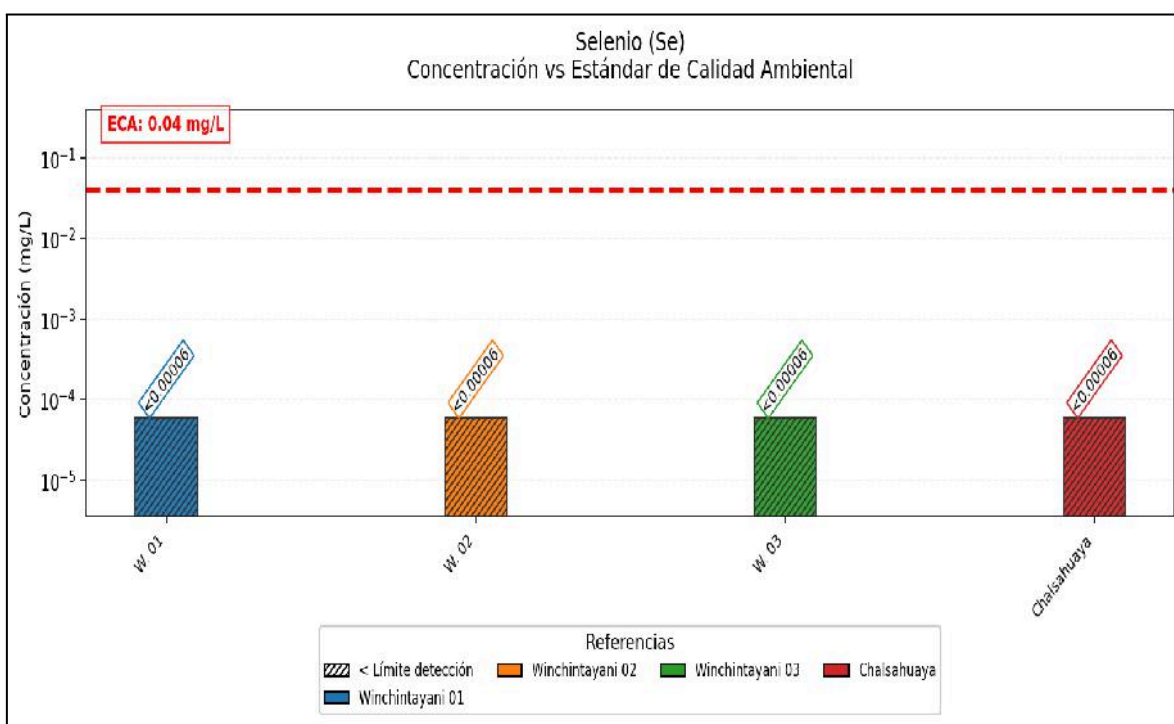


Figura 34: Resultados de laboratorio de selenio.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 34, en las 4 captaciones el valor del selenio se encuentra por debajo del límite de detección (<0.00006 mg/L). Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0.04 mg/L.

Uranio

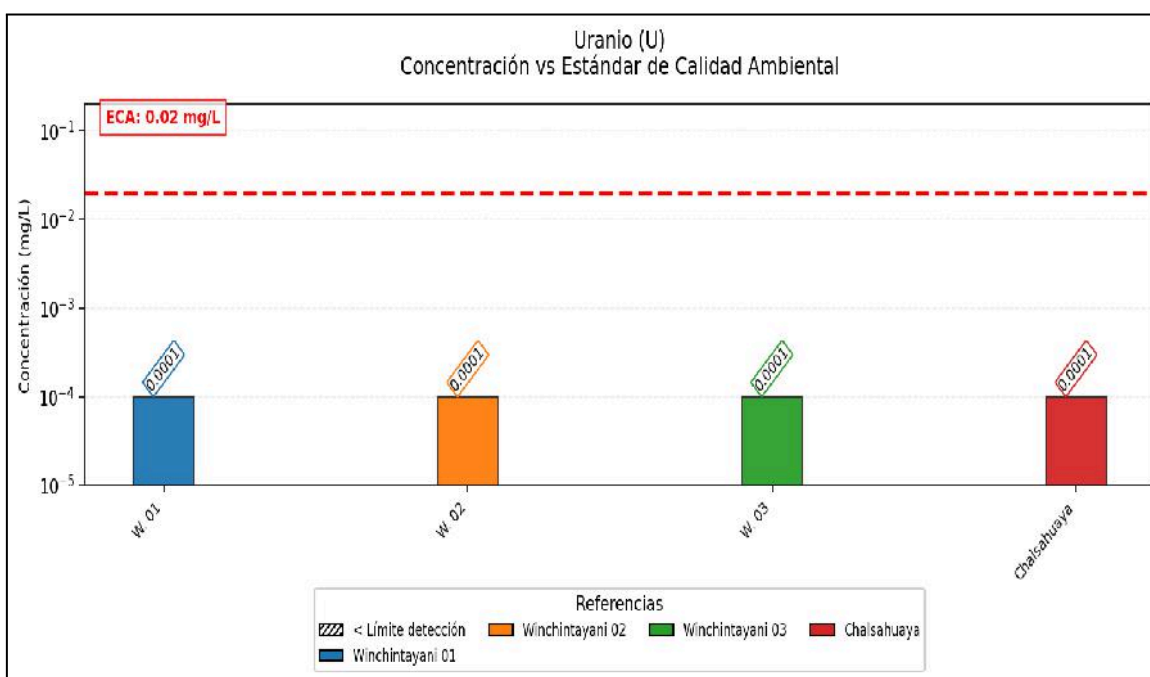


Figura 35: Resultados de laboratorio de uranio.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 35, en las 4 captaciones el valor del uranio es de 0.0001 mg/L para Wichintayani 01; 0.0001 mg/L para Wichintayani 02; 0.0001 mg/L para Wichintayani 03; 0.0001 mg/L para Chalsahuaya. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 0.02 mg/L.

Zinc

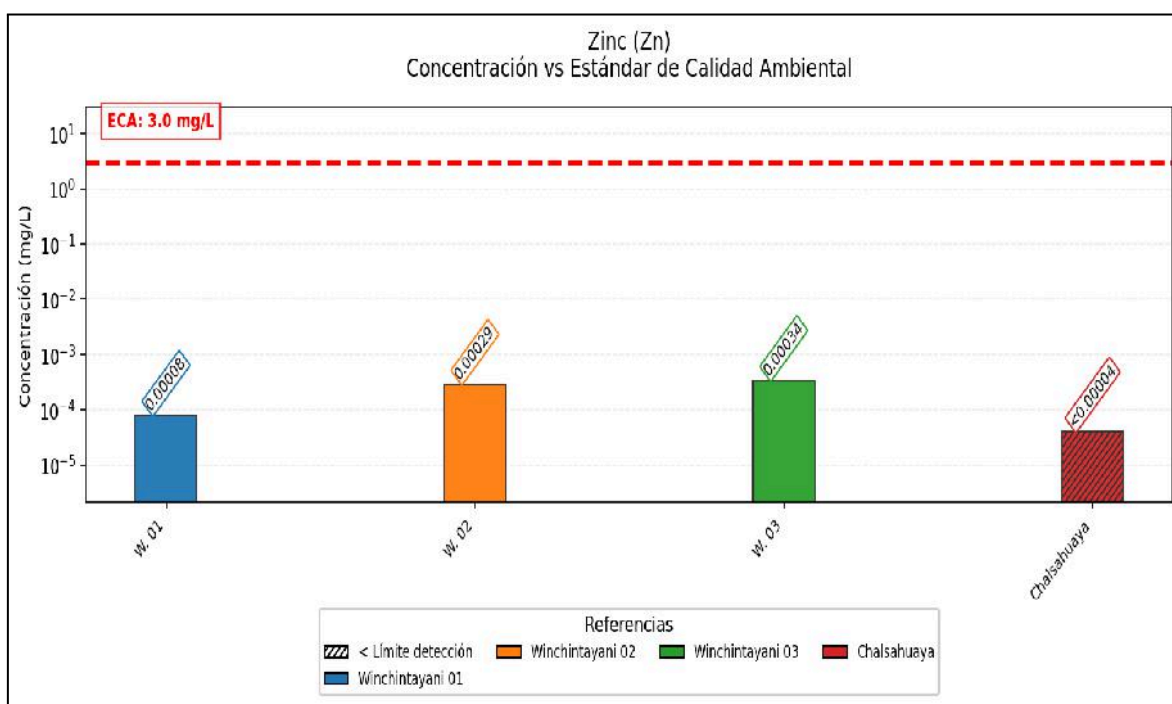


Figura 36: Resultados de laboratorio de zinc.

De acuerdo con los resultados que se observan en la tabla 7 y la figura 36, en la captación Chalsahuaya el valor reportado para el zinc está por debajo del límite de detección (<0.0004 mg/L), por otro lado de 0.00008 mg/L para Wichintayani 01; 0.00029 mg/L para Wichintayani 02; 0.00034 mg/L para Wichintayani 03. Por lo que podemos concluir que los valores están dentro de los parámetros establecidos por el ECA del agua, que es de 3.0 mg/L.

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de la evaluación de la calidad del agua en las fuentes Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya, ubicadas en el distrito de Carumas, revelan un panorama mixto al ser comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, específicamente la Categoría 1, Subcategoría A1 (D.S. N° 004-2017-MINAM), que define aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable que pueden ser potabilizadas con simple desinfección.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos y metales pesados, los resultados de este estudio (Tabla 05 y Tabla 07) indican, en general, una calidad aceptable del agua en las

cuatro fuentes evaluadas. Parámetros como pH (7.24 - 7.64), Turbiedad (<1.33 UNT), Color (<1.13 Pt/Co), Conductividad (<78 $\mu\text{S}/\text{cm}$), Dureza (<19 mg/L), así como las concentraciones de cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos y fluoruros se encuentran holgadamente dentro de los límites establecidos por el ECA. De igual manera, los niveles de metales pesados y otros elementos traza analizados (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Hg, etc.) se hallaron en concentraciones muy bajas, cumpliendo con los respectivos ECA. Este perfil fisicoquímico favorable contrasta con los hallazgos de otros estudios en zonas andinas, como el de Chávez (2019b) en Pasco, que reportó excedencias en Hierro, Manganeseo y Plomo en aguas subterráneas, o el de Mamani Maron (2024) en Sicuani (Cusco), quien concluyó un incumplimiento general de parámetros fisicoquímicos respecto a los LMP (D.S. N° 031-2010-SA). También difiere de la situación en otras ecorregiones como Ucayali, donde Torres & Pinchi (2023b) evaluaron fuentes con probable alta carga orgánica y turbiedad. La baja mineralización (baja conductividad, dureza y TDS) y la ausencia de metales pesados detectables en las fuentes de la zona de Wichintayani y Chalsahuaya sugieren, preliminarmente, una menor influencia de procesos geológicos adversos o contaminación industrial/minera significativa en estos puntos específicos, al menos durante el periodo de muestreo.

Sin embargo, la evaluación microbiológica y parasitológica (Tabla 06) presenta un escenario diferente y es el factor determinante del incumplimiento de la calidad requerida para agua potable sin tratamiento convencional. El hallazgo más crítico es la detección de *Escherichia coli* (2.0 NMP/100mL) en la fuente Winchintayani 02. La presencia de *E. coli*, aunque en baja concentración, viola el estricto criterio de ausencia (0 NMP/100mL) establecido tanto por el ECA para agua (DS 004-2017-MINAM) subcategoría A1, como por el LMP para agua potable (D.S. N° 031-2010-SA), indicando contaminación fecal reciente y un riesgo sanitario inaceptable para consumo directo o con simple desinfección. Este hallazgo, aunque puntual en una de las cuatro fuentes, es consistente con la problemática ampliamente documentada en la región andina. Estudios en Puno como los de Huarachi (2021), Roque (2024) y Lopez & Lopez (2024) han reportado

contaminación por coliformes termotolerantes/fecales. Similarmente, Mamani (2024) en Sicuani, Hurtado (2021) y Chávez (2019b) en Pasco, y Moreno & Sagñay (2024) en Ecuador, confirman la recurrencia de contaminación fecal en diversas fuentes de agua. Incluso en contextos diferentes como Panamá, Silvera et al. (2021b) encontró contaminación por *E. coli* en agua distribuida proveniente de El Pozo. Esto refuerza la idea de que la contaminación fecal es una amenaza persistente para las fuentes de agua en las captaciones de Wichintayani y Chalsahuaya y áreas similares, requiriendo vigilancia constante.

Adicionalmente, se detectó la presencia de Organismos de Vida Libre (OVL) en tres de las cuatro fuentes (Winchintayani 01: 2 Org/L; Winchintayani 02: 1 Org/L; Chalsahuaya: 1 Org/L). Este hallazgo también representa un incumplimiento del ECA Subcategoría A1, que establece un límite de ausencia (0 Org/L) para este parámetro. Si bien la normativa no especifica los tipos de OVL (pueden incluir protozoos, rotíferos, nematodos, algas, etc.), su presencia es relevante por varias razones. Primero, indica una conexión hidráulica de la fuente con ambientes superficiales o una protección inadecuada que permite el ingreso de estos microorganismos. Segundo, algunos OVL, como ciertos protozoos (ej. *Giardia*, *Cryptosporidium*, amebas), son patógenos y notablemente más resistentes a la desinfección con cloro que las bacterias (Le Dantec et al., 2002). La presencia general de OVL sugiere un riesgo biológico adicional que no debe subestimarse. Este parámetro no es comúnmente reportado en todos los estudios de calidad de agua citados, lo que resalta la importancia de su inclusión en el monitoreo, ya que su presencia refuerza la necesidad de tratamientos físicos como la filtración, además de la desinfección.

Las implicaciones de estos hallazgos son claras: a pesar de la buena calidad fisicoquímica y de metales, el agua de las fuentes Winchintayani y Chalsahuaya, particularmente Winchintayani 02 debido a la presencia de *E. coli*, no es segura para consumo humano sin un tratamiento adecuado que garantice la eliminación o inactivación de patógenos bacterianos y otros microorganismos como los OVL detectados. La

presencia de *E. coli* implica un riesgo directo de enfermedades gastrointestinales para la población. La presencia de OVL, además de indicar una posible vulnerabilidad de la fuente, puede requerir procesos de tratamiento más robustos que la simple cloración, como la filtración (lenta, rápida, por membranas o cerámica), tal como sugieren los trabajos que evalúan sistemas de tratamiento (Bonifacio, 2023; Chipana & Matos, 2022). Dado que la turbiedad es baja en las fuentes estudiadas (<1.33 UNT), tecnologías de filtración simples combinadas con desinfección podrían ser efectivas.

En conclusión, la evaluación integral de la calidad del agua en Winchintayani y Chalsahuaya revela que, si bien las características fisicoquímicas y de metales son favorables y cumplen con el ECA (D.S. N° 004-2017-MINAM), la contaminación microbiológica, evidenciada por la presencia de *E. coli* en una fuente y de Organismos de Vida Libre en tres de ellas, impide clasificar estas aguas como aptas para consumo humano mediante simple desinfección (Subcategoría A1) o para consumo directo (LMP D.S. N° 031-2010-SA).

4.5. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Hipótesis específicas:

H₀: Algunos parámetros físicoquímicos encontrados en las captaciones de agua Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas SOBREPASAN los valores establecidos en el ECA para agua DS 004-2017-MINAM.

H₁: Algunos parámetros físicoquímicos encontrados en las captaciones de agua Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas NO SOBREPASAN los valores establecidos en el ECA para agua DS 004-2017-MINAM.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 05, podemos apreciar que todos los resultados **NO SOBREPASAN** los valores establecidos en el ECA de agua, por lo que rechazamos la hipótesis nula y **aceptamos la hipótesis alterna**.

H₀: Algunos parámetros microbiológicos reportados en las captaciones de agua de Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas SOBREPASAN los valores establecidos en el ECA para agua DS 004-2017-MINAM.

H₁: Algunos parámetros microbiológicos reportados en las captaciones de agua de Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas NO SOBREPASAN los valores establecidos en el ECA para agua DS 004-2017-MINAM.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 06, podemos observar que los parámetros de organismos de vida libre y Escherichia coli **SOBREPASAN** los valores establecidos en el ECA de agua, por lo que **aceptamos la hipótesis nula** y rechazamos la hipótesis alterna.

H₀: Algunos parámetros inorgánicos de metales pesados en el agua de las captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas SUPERAN los ECA para agua DS 004-2017-MINAM.

H₁: Algunos parámetros inorgánicos de metales pesados en el agua de las captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas NO SUPERAN los ECA para agua DS 004-2017-MINAM.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 07, podemos observar que los parámetros inorgánicos metales pesados **NO SUPERAN** los valores establecidos por el ECA de agua DS 004-2017-MINAM, por lo que rechazamos la hipótesis nula y **aceptamos la hipótesis alterna**.

Hipótesis general:

H₀: La calidad del agua de las captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas NO CUMPLE con los valores establecidos, en comparación con el ECA Agua DS 004-2017-MINAM.

H₁: La calidad del agua de las captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas CUMPLE con los valores establecidos, en comparación con el ECA Agua DS 004-2017-MINAM.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la calidad de agua de las captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas NO CUMPLE con los valores establecidos, en comparación con el ECA Agua DS 004-2017-MINAM, por lo que **aceptamos la hipótesis nula** y rechazamos la hipótesis alterna.

CONCLUSIONES

- PRIMERA: La calidad de agua de las captaciones Winchintayani 01, 02 Y Chalsahuaya no cumplen con los estándares de calidad ambiental según el DS 004-2017-MINAM debido principalmente al incumplimientos en los parámetros microbiológicos; se identificó la presencia de *Escherichia coli* en Winchintayani 02 y formas de vida libre en Winchintayani 01,02 y Chalsahuaya a diferencia de los parámetros de metales pesados y fisicoquímicos analizados en el agua de las cuatro captaciones se encuentran dentro de los valores establecidos por el DS 004-2017-MINAM, lo que indica que el agua de las captaciones WINCHINTAYANI 01, 02, y CHALSAHUAYA del distrito de Carumas no es apta para el consumo humano directo sin embargo la captacion Wichintayani 03 cumple con los valores establecidos por el ECA por lo que se considera apta para consumo.
- SEGUNDA: Los resultados de los análisis de los parámetros fisicoquímicos de las 4 captaciones se encuentran por debajo de los valores establecidos por el DS 004-2017-MINAM.
- TERCERA: Los resultados obtenidos de la evaluación de parámetros microbiológicos presentan contaminación microbiológica debido a la presencia de *Escherichia coli* con valores de 2.0 NMP/100 mL y organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos) con valores de 1 N° Organismos/L - 2 N° Organismos/L, haciendo necesario un tratamiento previo para su posterior consumo.
- CUARTA: Se pudo determinar que los resultados de cada uno de los parámetros de metales pesados se encuentran por debajo de los valores establecidos por el DS

004-2017-MINAM; por lo tanto, las captaciones no representan riesgo por metales pesados. Los valores reportados en su mayoría se encuentran por debajo de los estándares de calidad ambiental ECA.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Debido al incumplimiento de DS 004-2017-MINAM, se recomienda a la Municipalidad Distrital de Carumas exigir la implementación de un sistema de tratamiento adecuado, como cloración directa, ozonificación o tratamiento UV, así como evaluar técnica y económicamente la implementación de tratamientos utilizando membranas como la ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa.

SEGUNDA: A la Municipalidad Distrital de Carumas para que pueda utilizar estos datos fisicoquímicos como valores de entrada para el diseño conceptual de los procesos de potabilización, confirmando que probablemente no se necesitarán tratamientos complejos como ablandamiento, oxidación avanzada o remoción específica de iones (más allá de una posible corrección menor de pH o remoción de turbidez si aplica estacionalmente). Se debe establecer un plan de monitoreo fisicoquímico de largo plazo dentro del futuro plan de control de calidad del agua tratada y de la fuente si se desarrolla el proyecto.

TERCERA: A la Municipalidad Distrital de Carumas antes de avanzar en diseños de tratamiento costosos, se debe invertir en identificar las vías de contaminación e implementar medidas de protección y mejora sanitaria de las estructuras de captación existentes o futuras (sellado, drenajes perimetrales, restricción de acceso animal, etc.)

CUARTA: A la Municipalidad Distrital de Carumas y a la población de Carumas para que se establezcan formalmente estos resultados como la línea base de metales pesados y planificar monitoreos periódicos e implementar Monitoreos Participativos con la finalidad de salvaguardar el recurso hídrico. Así mismo, se deben establecer medidas de protección en las zonas de recarga para prevenir futuras contaminaciones por metales

asociadas a cambios en el uso del suelo o nuevas actividades económicas en el área de influencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Abduljabar, P., Hassan, N., & Karimi, H. (2020). Assessment of Physicochemical Parameters of Spring Water Sources in Amediye District, Kurdistan Region of Iraq. *International Journal of Health and Life Sciences*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.5812/ijhls.100324>
- Addisie, M. B. (2022). Evaluating Drinking Water Quality Using Water Quality Parameters and Esthetic Attributes. *Air, Soil and Water Research*, 15, 11786221221075005. <https://doi.org/10.1177/11786221221075005>
- Aguirre, C. (2022). Calidad del agua en fuentes usadas para consumo humano en 14 comunidades del El Viejo, Chinandega, Nicaragua, 2020. *La Calera*, 22(39), Article 39. <https://doi.org/10.5377/calera.v22i39.14920>
- Ahmed, T., Zounemat-Kermani, M., & Scholz, M. (2020). Climate Change, Water Quality and Water-Related Challenges: A Review with Focus on Pakistan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(22), 8518. <https://doi.org/10.3390/ijerph17228518>
- ANA. (2009, marzo 31). *LEY DE RECURSOS HÍDRICOS LEY N° 29338*. <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/228/ANA0000044.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ANA. (2016a, enero 11). *R.J. N° 010-2016-ANA*. Drupal. <https://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-010-2016-ana-0>
- ANA. (2016b, marzo 10). *PROTOCOLO NACIONAL PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES | SINIA*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales>
- Baeza Gómez, E. (2016, noviembre 16). *Calidad del Agua*. DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS, EXTENSIÓN Y PUBLICACIONES. <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23747/2/Calidad+del+Agua+Final.pdf>

- Bahous, N., Benatiallah, D., Assia, A., Slimane, K., Hammad, T., & Mokhtaria, H. (2024). Geochemical characterization of spring waters from the Tinerkouk region, southwestern Algeria. *Water Practice and Technology*, 19(7), 2744-2760. <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.161>
- Bănăduc, D., Simić, V., Cianfaglione, K., Barinova, S., Afanasyev, S., Öktener, A., McCall, G., Simić, S., & Curtean-Bănăduc, A. (2022). Freshwater as a Sustainable Resource and Generator of Secondary Resources in the 21st Century: Stressors, Threats, Risks, Management and Protection Strategies, and Conservation Approaches. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(24), 16570. <https://doi.org/10.3390/ijerph192416570>
- BANCO MUNDIAL. (2023, julio 28). *Agua: Panorama general* [Text/HTML]. World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>
- Berihun, G., Abebe, M., Hassen, S., Gizeyatu, A., Berhanu, L., Teshome, D., Walle, Z., Desye, B., Sewunet, B., & Keleb, A. (2023). Drinking water contamination potential and associated factors among households with under-five children in rural areas of Dessie Zuria District, Northeast Ethiopia. *Frontiers in Public Health*, 11, 1199314. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1199314>
- Bonifacio Durant, L. F. (2023). *Calidad de agua para consumo poblacional, en la localidad de Ocuvi, distrito de Ocuvi, provincia de Lampa—Puno*. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20787>
- Brim Box, J., Davis, J., Howard, J., & Work, K. (2023). Editorial: Threatened aquatic gems: freshwater springs and groundwater-dependent ecosystems. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1270348>
- Century-Foods. (2023, septiembre 26). Local Spring Water Sources: A Precious Natural Resource. *Century Spices & Snacks*. <https://century.com.np/local-spring-water-sources/>
- Chalise, B., Paudyal, P., Kunwar, B. B., Bishwakarma, K., Thapa, B., Pant, R. R., & Neupane, B. B. (2023). Water quality and hydrochemical assessments of thermal

- springs, Gandaki Province, Nepal. *Heliyon*, 9(6), e17353.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17353>
- Chand, S., Prasad, H. J., & Prasad, J. (2021). Spring water and it's quality assessment for drinking purpose: A review. *Pantnagar Journal of Research*, 19(3), 489-496.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20220118677>
- Chávez Mauricio, E. (2019a). Evaluación de la calidad físico, químico y microbiológico del recurso hídrico subterráneo como fuente de abastecimiento para consumo humano en el distrito de Vicco, provincia y departamento de Pasco. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*.
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1602>
- Chávez Mauricio, E. (2019b). Evaluación de la calidad físico, químico y microbiológico del recurso hídrico subterráneo como fuente de abastecimiento para consumo humano en el distrito de Vicco, provincia y departamento de Pasco. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*.
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1602>
- Chidiac, S., El Najjar, P., Ouaini, N., El Rayess, Y., & El Azzi, D. (2023). A comprehensive review of water quality indices (WQIs): History, models, attempts and perspectives. *Re/Views in Environmental Science and Bio/Technology*, 22(2), 349-395.
<https://doi.org/10.1007/s11157-023-09650-7>
- Chipana Meza, M. M., & Matos Zavaleta, N. (2022). *Calidad de agua para consumo humano y su tratamiento mediante un sistema de filtros en las captaciones de agua, Ancash – Perú*. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/6009>
- Colín Carreño, M. A., Esquivel Martínez, J. M., Salcedo Sánchez, E. R., Álvarez Bastida, C., Padilla Serrato, J. G., Lopezaraiza Mikel, M. E., & Talavera Mendoza, Ó. (2023). Human Health Risk and Quality Assessment of Spring Water Associated with Nitrates, Potentially Toxic Elements, and Fecal Coliforms: A Case from Southern Mexico. *Water*, 15(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/w15101863>
- COMEX - *Sociedad de Comercio Exterior del Perú—Inicio*. (2024, agosto 9).

COMEXPERU - Sociedad de Comercio Exterior Del Perú.

<https://www.comexperu.org.pe>

Conexión Esan. (2016, abril 27). *¿Qué son los estándares de calidad ambiental y los límites máximos permisibles?* | Conexión ESAN.

<https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/que-son-los-estandares-de-calidad-ambiental-y-los-limites-maximos-permisibles>

Contreras Chura, H., Belizario Quispe, G., & Chui Betancur, H. N. (2023). CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN LOS MANANTIALES EN LA PARCIALIDAD DE JISCULLAYA, EL COLLAO, PUNO, PERÚ. *Revista Boliviana de Química*, 40(2). <https://doi.org/10.34098/2078-3949.40.2.1>

Das, S., Malhari, M., Starkl, M., Brunner, N., Mishra, P., & Sahoo, S. S. (2025). Health and economic consequences due to inadequate water quality: A case study from Eastern India. *Journal of Water and Health*, 23(3), 397-412. <https://doi.org/10.2166/wh.2025.339>

Dendup, T., Lhendup, T., Lekzin, P., & Tobgay, S. (2022). Hydrogeochemical and biological assessment of spring and stream water quality for its suitability for drinking in Kanglung locality, Trashigang, Bhutan. *Water Supply*, 22(9), 7096-7110. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.298>

Edwards, J. (2023, junio 22). *Health Benefits of Drinking Water*. Health. <https://www.health.com/benefits-of-drinking-water-7510285>

Enriquez Hurtado, R. (2023). *AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN PERÚ*. Fundación Fiedrich Ebert. <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/peru/20508.pdf>

Fattah, G., Ghrissi, F., Mabrouki, J., & Kabriti, M. (2021). Control of physicochemical parameters of spring waters near quarries exploiting limestone rock. *E3S Web of Conferences*, 234, 00018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123400018>

Fekeda, L., & Gutema, K. (2025). Assessment of Physicochemical and Bacteriological Quality of Drinking Water from Source to Household Tap in Ayana Town, Western Ethiopia. *Trends in Environmental Sciences*.

<https://tes.scione.com/cms/fulltext.php?id=7>

Georges, E. S., Séraphin, K. K., Adélaïde, O.-Y. M.-J., Jules, M. O. M., Brou, D., & Lazare, K. K. (2020). Mineralization of Natural Spring Water in the City of Daloa (West-Central Côte d'Ivoire). *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8(12), Article 12. <https://doi.org/10.4236/gep.2020.812012>

Gleick, P. H. (2014). *The World's Water* (Vol. 8). ISLAND PRESS. <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/67676/1/Peter%20H.%20Gleick.pdf>

Global Commission on the Economics of Water. (2023, marzo). *The What, Why and How of the World Water Crisis*. <https://watercommission.org/wp-content/uploads/2023/03/Why-What-How-of-Water-Crisis-Web.pdf>

Gobierno regional de Moquegua. (2022, diciembre 1). *Plan de desarrollo regional concertado Moquegua al 2032*. <https://consultas.regionmoquegua.gob.pe/wp-content/uploads/2022/12/PLAN-DE-DESARROLLO-REGIONAL-CONCERTADO-MOQUEGUA-AL-2032.pdf>

Goblirsch, T., Mayer, T., Penzel, S., Rudolph, M., & Borsdorf, H. (2025). (PDF) In Situ Water Quality Monitoring Using an Optical Multiparameter Sensor Probe. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.3390/s23239545>

Great Springs Project. (s. f.). *The ECONOMIC BENEFITS of the GREAT SPRINGS TRAIL from the Alamo to the Capitol*.

He, J., Li, Y., Su, J., & Liao, B. (2023). Urban water health: A conceptual framework and assessment system. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1081555>

Huaquisto Ramos, B. (2024). Calidad del agua de las captaciones Chichicapac y Jatun Pinaya del distrito de Macusani – Carabaya, 2023. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/840>

Huarachi Cruz, C. E. (2021). Evaluación de la calidad de agua para el consumo humano en la Isla Ccapi los Uros del Lago Titicaca—Puno. *Universidad Privada San*

- Carlos. <http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC S.A.C./88>
- Hurtado Arrieta, H. J. (2021). Evaluación de parámetros físico – químico y microbiológico para determinar la categoría de sus aguas – C.P. Quillazu – Oxapampa – 2016. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*.
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2398>
- Instituto de Calidad Ambiental. (2023a, enero 20). Calidad Ambiental en el Perú: Definición, normativa e importancia. *Instituto Ambiental*.
<https://institutoambiental.pe/calidad-ambiental-en-el-peru-definicion-normativa-e-importancia/>
- Instituto de Calidad Ambiental. (2023b, enero 20). ECA para Agua | Estándar de Calidad ambiental para el agua. *Instituto Ambiental*.
<https://institutoambiental.pe/eca-para-agua/>
- Instituto de Calidad Ambiental. (2023c, marzo 29). ¿Qué son los ECA? *Instituto Ambiental*. <https://institutoambiental.pe/que-son-los-eca/>
- Jung, M. S., Silva, J. A. G. D., Fachinetto, J. M., Copetti, C. M., Babeski, C. M., & Peter, C. L. (2024). Water springs: An immeasurable resource for ensuring sustainability. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 96, e20231010.
<https://doi.org/10.1590/0001-3765202420231010>
- Juris.pe. (2024). *Constitución Política del Perú [actualizada al 2024]* | *Juris.pe*.
<https://juris.pe/blog/constitucion-politica-peru-actualizada/>
- Kerlinger, F. N., Lee, H. B., Pineda Ayala, L. E., & Mora Magaña, I. (2002). *Investigación del comportamiento: Métodos de investigación en ciencias sociales* (Cuarta edición). Mcgraw-Hill/Interamericana.
- Khatri, N., & Tyagi, S. (2015). Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Frontiers in Life Science*, 8(1), 23-39. <https://doi.org/10.1080/21553769.2014.933716>
- Kumar, M., Khamis, K., Stevens, R., Hannah, D. M., & Bradley, C. (2024). In-situ optical water quality monitoring sensors—Applications, challenges, and future

- opportunities. *Frontiers in Water*, 6. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1380133>
- Landero García, S. A. (2019). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA LA PÓLVORA EN VILLAHERMOSA, TABASCO*. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/1300>
- Lanrewaju, A. A., Enitan-Folami, A. M., Sabiu, S., Edokpayi, J. N., & Swalaha, F. M. (2022). Global public health implications of human exposure to viral contaminated water. *Frontiers in Microbiology*, 13, 981896. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.981896>
- Le Dantec, C., Duguet, J.-P., Montiel, A., Dumoutier, N., Dubrou, S., & Vincent, V. (2002). Chlorine Disinfection of Atypical Mycobacteria Isolated from a Water Distribution System. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(3), 1025-1032. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.3.1025-1032.2002>
- León Duharte, L., Arada Pérez, M. de los Á., Vila Torres, L., Fernández Estrada, A., & Chibinda, C. (2022). Evaluación de la calidad del agua del manantial “El Paraíso” en Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Química*, 34(2), 303-314. <https://www.redalyc.org/journal/4435/443571996006/>
- Lin, L., Yang, H., & Xu, X. (2022). Effects of Water Pollution on Human Health and Disease Heterogeneity: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246>
- Liu, L., Chen, Y., Li, W., Zeng, Y., & Lin, M. (2023). Research on Industry Transformation Models and Influencing Factors of Hot Spring Villages from the Perspective of Sustainable Development: A Case Study of Fujian, China. *Sustainability*, 15(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/su15139872>
- Lopez Fuentes, Y. B., & Lopez Fuentes, J. (2024). Evaluación de la calidad de agua del río zapatilla, sector zona alta, comparando con los estándares de calidad ambiental para consumo humano del distrito de Pilcuyo—2024. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/943>
- Making a Difference: Natural Spring Water vs. Other Sources*. (s. f.). Recuperado 3 de

- abril de 2025, de
<https://www.greatsprings.com/blog/making-a-difference-natural-spring-water-vs-other-sources>
- Mamani Maron, R. R. (2024). Determinación de la calidad del agua para consumo humano en el centro poblado de Corpa—Distrito de Sicuani, 2023. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/870>
- Manetu, W. M., & Karanja, A. M. (2021). Waterborne Disease Risk Factors and Intervention Practices: A Review. *Open Access Library Journal*, 8(5), Article 5. <https://doi.org/10.4236/oalib.1107401>
- MINAM. (s. f.). *Estándares de calidad ambiental*. Dirección General de Calidad Ambiental. Recuperado 10 de abril de 2025, de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/estandares-de-calidad-ambiental/>
- MINAM. (2017a). *MINAM aprueba Estándares de Calidad Ambiental para Agua y Aire*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/993-minam-aprueba-estandares-de-calidad-ambiental-para-agua-y-aire>
- MINAM. (2017b, julio 7). *DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- MINAM. (2017c, julio 7). *DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental para Agua*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- MINAM. (2019). *Estándar de Calidad Ambiental*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/308391-estandar-de-calidad-ambiental>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2000). *Libro blanco del agua*. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/spa192539.pdf>
- Ministero de Salud. (2010). *Decreto Supremo N.° 031-2010-SA*. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>

- Mizane, N. E. H., Houha, B., Khelifi, A., Bettache, N., & Ahmed, S. (2025). Unveiling the impact of the COVID-19 pandemic on water quality: A case study on Ain-Silan and Ain-Karma sources. *Water Supply*, 25(2), 315-326. <https://doi.org/10.2166/ws.2025.015>
- Moore, A. (2025, enero 23). How Do Wildfires Impact Water Quality? *College of Natural Resources News*. <https://cnr.ncsu.edu/news/2025/01/how-do-wildfires-impact-water-quality/>
- Morales, K. (2021, diciembre 20). Mountain spring water isn't as clean as you think it is. *UGA Today*. <https://news.uga.edu/mountain-spring-water-isnt-as-clean-as-you-think-it-is/>
- Moreno Samaniego, M. C. M., & Sagñay Lema, S. I. S. (2024). CALIDAD DEL AGUA EN AIRÓN, CHIMBORAZO, ECUADOR: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO PARA CONSUMO HUMANO, EVALUACIÓN DE IMPACTO EN SALUD PÚBLICA. *LA CIENCIA AL SERVICIO DE LA SALUD Y NUTRICIÓN*, 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.47187/cssn.Vol15.Iss1.268>
- Nadjet, E., Zine Eddine, B., Maya, G., Azzedine, H., Badis, A., Amir, L., & Nardjes, L. (2024). *Physicochemical and microbiological analyses of spring water from a rural area in the Western of Skikda (Algeria)*. 6(16).
- Nadreen, Y. M., Vrouwenvelder, J. S., Saikaly, P. E., & Gonzalez-Gil, G. (2024). The unique chemical and microbiological signatures of an array of bottled drinking water. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1441142. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1441142>
- Nerae, M. D., Zimale, F. A., Steenhuis, T. S., & Kebedew, M. G. (2024). *Using Two Water Quality Indices for Evaluating the Health and Management of a Tropical Lake*. <https://www.mdpi.com/2306-5338/11/12/212>
- OMS. (2017, abril 24). *Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
- OMS. (2023a, septiembre 13). *Agua para consumo humano*.

- <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- OMS. (2023b, septiembre 13). *Drinking-water*.
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda (4a ed + 1a adenda)*.
Organización Mundial de la Salud. <https://iris.who.int/handle/10665/272403>
- Organización Mundial de la Salud. (2023, septiembre 13). *Agua para consumo humano*.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Paliyal, P. S., Mondal, Surajit, & Pandey, J. K. (2024). An Analysis of Springwater Parameter Status for Different Locations in the Rural Hilly Garhwal Region of Uttarakhand. *Environmental Claims Journal*, 36(3), 243-277.
<https://doi.org/10.1080/10406026.2024.2423964>
- Pedron, R., Esposito, A., Cozza, W., Paolazzi, M., Cristofolini, M., Segata, N., & Jousson, O. (2022). Microbiome characterization of alpine water springs for human consumption reveals site- and usage-specific microbial signatures. *Frontiers in Microbiology*, 13, 946460. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.946460>
- Peters, N. E., & Meybeck, M. (2024). (PDF) Water Quality Degradation Effects on Freshwater Availability: Impacts of Human Activities. *ResearchGate*.
<https://doi.org/10.1080/02508060008686817>
- Pokhrel, G., Rijal, M. L., & Krishan, G. (2025). Assessing in-situ physico chemical parameters variability of springs in mid-hill region of Nepal. *Water Science*.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23570008.2025.2474777>
- Polit, D. F., & Hungler, B. P. (2000). *Investigación científica en ciencias de la salud: Principios y métodos* (6a ed). McGraw-Hill Interamericana.
- Puente Miranda, D. G., Valenzuela García, L. I., Alarcón Herrera, M. T., Puente Miranda, D. G., Valenzuela García, L. I., & Alarcón Herrera, M. T. (2023). Determinación histórica de índices de calidad del agua en observatorios participativos en el norte de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 39.

<https://doi.org/10.20937/rica.54697>

Roldán Pérez, G. (s. f.). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua*.

Roque Roque, L. (2024). *Calidad fisicoquímica y bacteriológica de la fuente de agua de consumo humano del distrito de Santiago de Pupuja, Azángaro—Puno*.

<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/21419>

Sampieri Hernandez, R., Ferández Collado, P., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (sexta). Mc Graw Hill.

https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

Shi, R., Zhao, J., Shi, W., Song, S., & Wang, C. (2020). Comprehensive Assessment of Water Quality and Pollution Source Apportionment in Wuliangsu Hai Lake, Inner Mongolia, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 5054. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145054>

Silvera, T., Grey, A., Zohre, K., & Coatney, J. M. (2021a). Estudio para Determinar la Calidad del Agua de Pozo, Mediante los Parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos en la Comunidad de Miramar, Provincia de Colón. *Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología – APANAC*, 120-125.

<https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3189>

Silvera, T., Grey, A., Zohre, K., & Coatney, J. M. (2021b). Estudio para Determinar la Calidad del Agua de Pozo, Mediante los Parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos en la Comunidad de Miramar, Provincia de Colón. *Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología – APANAC*, 120-125.

<https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3189>

Singh, J., Pant ,Manish, Ghoshal ,Tarumay, Srivastava ,Arun Lal, & and Singh, S. (2025). Spatio-Seasonal Observations of Water Quality Index, Heavy-Metal Pollution Index and Microbial Contagion in Springs of Lower Indian Himalayan Zone. *Environmental Claims Journal*, 0(0), 1-36.

<https://doi.org/10.1080/10406026.2025.2482232>

SLab. (2025, marzo 5). Gestión del Agua: ECA y LMP para el Cumplimiento Ambiental.

SLab

Perú.

<https://slabperu.com/gestion-del-agua-eca-y-imp-para-el-cumplimiento-ambiental/>

Stevens, L. E., Aly, A. A., Arpin, S. M., Apostolova, I., Ashley, G. M., Barba, P. Q., Barquín,

J., Beauger, A., Benaabidate, L., Bhat, S. U., Bouchaou, L., Cantonati, M., Carroll,

T. M., Death, R., Dwire, K. A., Felipe, M. F., Fensham, R. J., Fryar, A. E.,

Garsaball, R. P. i, ... Voldoire, O. (2022). The Ecological Integrity of Spring

Ecosystems: A Global Review. En D. A. DellaSala & M. I. Goldstein (Eds.),

Imperiled: The Encyclopedia of Conservation (pp. 436-451). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00111-2>

Stevens, L. E., Schenk, E. R., & Springer, A. E. (2021). Springs ecosystem classification.

Ecological Applications, 31(1), e2218. <https://doi.org/10.1002/eap.2218>

Sudia, L. B., Indriyani, L., Yunus, L., Mursidi, B., Yasin, A., Albasri, & Nurdin, M. (2021).

Water Quality in Thirty Freshwater Springs and Twenty Four Brackish Springs in

the Karst Area to Realize Sustainable Water Resources Management.

Sustainability, 13(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/su13052679>

Teklitz, A., Nietch, C., Riasi, M. S., & Yeghiazarian, L. (2021). Reliability theory for

microbial water quality and sustainability assessment. *Journal of Hydrology*, 596,

125711. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125711>

The American Society of Civil Engineers. (2020). *The Economic Benefits of Investing in*

Water

Infrastructure.

[https://infrastructurereportcard.org/wp-content/uploads/2021/03/Failure-to-Act-Wat](https://infrastructurereportcard.org/wp-content/uploads/2021/03/Failure-to-Act-Water-Wastewater-2020-Final.pdf)

[er-Wastewater-2020-Final.pdf](https://infrastructurereportcard.org/wp-content/uploads/2021/03/Failure-to-Act-Water-Wastewater-2020-Final.pdf)

Torres Vela, C. I., & Pinchi Lino, S. M. (2023a). *Evaluación de calidad de las fuentes de*

agua de consumo humano que abastece a las comunidades nativas Santa Rosa,

Dulce Gloria y Koshireni, en el distrito de Yurua, Ucayali, 2020.

<https://hdl.handle.net/20.500.14621/6384>

- Torres Vela, C. I., & Pinchi Lino, S. M. (2023b). *Evaluación de calidad de las fuentes de agua de consumo humano que abastece a las comunidades nativas Santa Rosa, Dulce Gloria y Koshireni, en el distrito de Yurua, Ucayali, 2020*.
<https://hdl.handle.net/20.500.14621/6384>
- US EPA, O. (2023, agosto 16). *Water Sensors Presentations and Publications* [Collections and Lists].
<https://www.epa.gov/water-research/water-sensors-presentations-and-publications>
- Vammen, K., Vaux, H., Gonzalez Rivas, E. J., & Roldán Pérez, G. A. (2021). *CALIDAD DEL AGUA EN LAS AMÉRICAS UNA SINOPSIS* (Primera Edición). La Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS).
<https://ianas.org/wp-content/uploads/2021/09/Calidad-del-Agua-en-las-Américas-U-na-sinopsis.pdf>
- Verna, V. (2016). *Los Eca y el Sistema Ambiente*.
- World Bank Group. (2025, marzo 20). *Overview* [Text/HTML]. World Bank.
<https://www.worldbank.org/en/topic/water/overview>
- Wynn, S., Borisova, T., & Hodges, A. (2014). Economic Value of the Services Provided by Florida Springs and Other Water Bodies: A Summary of Existing Studies: FE959/FE959, 11/2014. *EDIS*, 2014(9), Article 9.
<https://doi.org/10.32473/edis-fe959-2014>
- Yeboah, S. I. I. K., Antwi-Agyei, P., & Domfeh, M. K. (2022). Drinking water quality and health risk assessment of intake and point-of-use water sources in Tano North Municipality, Ghana. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 12(2), 157-167. <https://doi.org/10.2166/washdev.2022.152>
- Zulkifli, S. N., Rahim, H. A., & Lau, W.-J. (2018). Detection of contaminants in water supply: A review on state-of-the-art monitoring technologies and their applications. *Sensors and Actuators. B, Chemical*, 255, 2657-2689.
<https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.09.078>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia: Calidad del agua de las captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya en el distrito de Carumas - Moquegua 2025.

Problemas	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumento Escala	Metodología
<p>GENERAL</p> <p>¿Cuál es la calidad del agua de las captaciones WINCHINTAYANI 01, 02, 03 y CHALSAHUAYA del distrito de Carumas de acuerdo al ECA I del agua DS 004-2017-MINAM?</p>	<p>GENERAL</p> <p>Evaluar la calidad del agua de las captaciones WINCHINTAYANI 01, 02, 03 y CHALSAHUAYA del distrito de Carumas mediante el análisis de metales pesados, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de acuerdo con el ECA DS 004-2017-MINAM.</p>	<p>GENERAL</p> <p>La calidad del agua de las captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas no cumple con los valores establecidos, en comparación con el ECA I DS 004-2017-MINAM.</p>	<p>VI: Parámetros fisicoquímicos Microbiológico</p> <p>VD: Calidad de agua</p>	Parámetros fisicoquímicos	Turbiedad Color Sólidos disueltos totales Conductividad PH Dureza del agua. Concentración de cloruros y sulfatos Niveles de nitritos y nitratos	DS 004-2017-MINAM AM Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias.	<p>Enfoque: cuantitativo Diseño de investigación: No experimental Tipo: Descriptivo</p> <p>Población y muestra: manantiales</p>
<p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Qué niveles de contaminación físico-química presentan las captaciones de agua WINCHINTAYANI 01, 02, 03 y CHALSAHUAYA del distrito de Carumas? ¿Qué niveles de contaminación microbiológica presentan las captaciones de agua de WINCHINTAYANI 01, 02, 03 y CHALSAHUAYA del distrito de Carumas? ¿Cuál es la concentración de parámetros inorgánicos metales pesados del agua de las captaciones WINCHINTAYANI 01, 02, 03 y CHALSAHUAYA del distrito de Carumas? 	<p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Evaluar los parámetros físico-químicos presentes en las captaciones de agua de WINCHINTAYANI 01, 02, 03 y CHALSAHUAYA, del distrito de Carumas, según ECA I DS 004-2017-MINAM. Evaluar los parámetros microbiológicos presentes en las captaciones de agua de WINCHINTAYANI 01, 02, 03 y CHALSAHUAYA del distrito de Carumas según ECA I DS 004-2017-MINAM. Determinar la concentración de parámetros inorgánicos metales pesados en las captaciones WINCHINTAYANI 01, 02, 03 y CHALSAHUAYA del distrito de Carumas según ECA I DS 004-2017-MINAM. 	<p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Algunos parámetros fisicoquímicos encontrados en las captaciones de agua Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas sobrepasan los valores establecidos en el ECA para agua DS 004-2017-MINAM. Algunos parámetros microbiológicos reportados en las captaciones de agua de Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas sobrepasan los valores establecidos en el ECA para agua DS 004-2017-MINAM. Algunos parámetros inorgánicos de metales pesados en el agua de las captaciones Winchintayani 01, 02, 03 y Chalsahuaya del distrito de Carumas superan los ECA para agua DS 004-2017-MINAM. 	<p>Parámetros de agua</p>	Parámetros microbiológicos	Presencia de coliformes totales presencia de <i>Escherichia Coli</i> Presencia de Organismos de vida libre Formas parasitarias metales pesados	Laboratorio	Método estadístico: descriptiva

Anexo 02: Compromiso ético para trabajos de investigación

El presente proyecto de investigación titulado **CALIDAD DEL AGUA DE LAS CAPTACIONES WINCHINTAYANI 01, 02, 03 Y CHALSAHUAYA EN EL DISTRITO DE CARUMAS - MOQUEGUA 2025** ha sido elaborado y desarrollado por **CAROLINA CELINDA MURO CACERES**, planificado por el Centro de Investigación Científica para que sea realizado en estricto apego a la metodología de la investigación y a las normas éticas para investigación.

En vista de lo anterior, yo, bachiller de la carrera profesional de **INGENIERÍA AMBIENTAL**, con código número 204091, me comprometo a realizar las siguientes acciones:

- He desarrollado esta investigación siguiendo las instrucciones brindadas por el CI, desde la elaboración del marco referencial y recolección de la información, hasta el análisis de datos y elaboración del informe final. En tal sentido, la información contenida en el presente documento es producto de mi trabajo personal, apegándose a la legislación sobre propiedad intelectual, sin haber incurrido en falsificación de la información o cualquier tipo de fraude, por lo cual me someto a las normas disciplinarias establecidas por el CI- UPSC.
- Al respecto, en circunstancias especiales y formas de vidas particulares, con consideración a la perspectiva.
- A realizar el proceso de investigación con integridad científica.
- A obtener la información consentida de los participantes en la investigación.
- A garantizar el bienestar de animales, en cualquier tipo de investigación (No marque, si su proyecto no lo amerita).




FIRMA DEL AUTOR




Huella

Anexo 03: Informes de ensayo monitoreo de captaciones de agua



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003**



INACAL
DA - Perú
Instituto de Defensa
Acreditada
Registro N° LE - 003


INFORME DE ENSAYO N° 2-00354/25

Página 1/8


Solicitante	MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CARUMAS
Domicilio legal	CALLE CARUMAS S/N
Producto declarado	AGUA SUPERFICIAL
Lugar de Muestreo	SECTOR WICHINTAYANI Y SECTOR CHALSAHUAYA
Fecha de Muestreo	2025-04-02
Método de Muestreo	RJ N° 010-2016-ANA. Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales
Acta de Inspección	21AQ00053081606
Cantidad de Muestras para el Ensayo	70.0 Litros
Forma de Presentación	En Frasco de Plástico, Cerrado, Refrigerado Y Preservado
Identificación de la muestra	Según se indica
Fecha de recepción	2025-04-02
Fecha de inicio del ensayo	2025-04-02
Fecha de término del ensayo	2025-04-07
Ensayo realizado en	Laboratorio Ambiental Arequipa / Laboratorio Microbiología Arequipa / Laboratorio Toxinas Callao / Laboratorio Fitoplancton Callao
Identificado con	HS 25001543 (EXMA-00662-2025)
Validez del documento	Este documento es válido solo para la muestra descrita

Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE, Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LAS LOCALIDADES DE CARUMAS, SOLAJO Y SAILAPA, DISTRITO DE CARUMAS, PROVINCIA MARISCAL NIETO, DEPARTAMENTO DE MOQUEGUA"


Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
WICHINTAYANI 01	327931.62	8141543.07	—	—
WICHINTAYANI 02	327919.22	8141444.73	—	—
WICHINTAYANI 03	327838.06	8141427.78	—	—
CHALSAHUAYA	324184.94	8141325.17	—	—



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572
info@cerper.com - www.cerper.com



CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000



Ronald E. Pastor Tricoma
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 83276

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-00354/25

RESULTADOS

Página 2/8

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo			
			WICHINTAYANI 01	WICHINTAYANI 02	WICHINTAYANI 03	CHALSAHUAYA
			2025-04-02 13:00	2025-04-02 13:30	2025-04-02 14:00	2025-04-02 14:30
			Agua Natural Superficial	Agua Natural Superficial	Agua Natural Superficial	Agua Natural Superficial
Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Parámetros Analizados en Campo						
(2) Cloro Residual	0,02	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
(2) Conductividad	—	uS/cm	61,6	53,8	53,6	77,9
(2) Turbiedad	0,10	UNT	0,25	1,33	0,62	0,35
(2) pH	—	Unidades de pH a 25 °C	7,48	7,59	7,64	7,24
Parámetros Físico - Químicos						
Color Verdadero	1	UC	<1,0	1,13	<1,0	<1,0
Dureza Total	1,00	mg/L	11,4	10,1	11,4	16,1
Sólidos Totales Disueltos	2,50	mg/L	41,5	37,5	35,0	51,5
Parámetros Inorgánicos no Metálicos						
Cianuro Total	0,001	mgCN/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Aniones por Cromatografía Iónica						
Cloruros, Cl-	0,04	mg/L	0,227	0,214	0,238	0,374
Fluoruros, F-	0,002	mg/L	0,050	0,046	0,054	0,055
Nitratos, (como N)	0,002	mg/L	0,417	0,633	0,615	1,54
Nitritos, (como N)	0,001	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sulfatos, SO4-2	0,04	mg/L	1,32	0,739	0,676	0,902
Parámetros Microbiológicos						
Coliformes Termotolerantes	1,8	NMP/100mL	< 1,8	2,0	< 1,8	< 1,8
Coliformes Totales	1,8	NMP/100mL	< 1,8	23	< 1,8	< 1,8
Escherichia coli	1,8	NMP/100mL	< 1,8	2,0	< 1,8	< 1,8
Recuento de Heterótrofos en Placa	1	UFC/ml	51	43	1	34
Detección y/o enumeración de huevos de helmintos (Callao)						
Fasciola hepatica	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
Paragonimus sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
Schistosoma sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
Clonorchis sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
Echinostoma sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
Taenia sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
Dipylidium sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
Hymenolepis sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1

(2) Parámetros analizados In Situ



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572



info@cerper.com - www.cerper.com



Ronald E. Plattner Ficonza
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 83278

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-00354/25

Página 3/8

RESULTADOS (Continuación)

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Estación de Muestreo			
			WICHINTAYANI 01	WICHINTAYANI 02	WICHINTAYANI 03	CHALSAHUAYA
Fecha y Hora de Muestreo						
			2025-04-02 13:00	2025-04-02 13:30	2025-04-02 14:00	2025-04-02 14:30
Tipo de Muestra						
			Agua Natural Superficial	Agua Natural Superficial	Agua Natural Superficial	Agua Natural Superficial
			Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Detección y/o enumeración de huevos de helmintos (Callao)						
Diphyllobothrium sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
Ascaris sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
Ancylostoma sp / Necator sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
Trichuris sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
Capillaria sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
Trichostrongylus sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
Strongyloides sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
Enterobius sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
Macracanthorhynchus sp.	1	Huevos/L	<1	<1	<1	<1
(*) Protozoarios Patógenos (quistes y oocistas) (Callao)						
Entamoeba sp.	1	Quiste/L	<1	<1	<1	<1
Endolimax sp.	1	Quiste/L	<1	<1	<1	<1
Blastocystis sp.	1	Quiste/L	<1	<1	<1	<1
Iodamoeba sp.	1	Quiste/L	<1	<1	<1	<1
Acanthamoeba sp.	1	Quiste/L	<1	<1	<1	<1
Chlamydomonas sp.	1	Quiste/L	<1	<1	<1	<1
Giardia sp.	1	Quiste/L	<1	<1	<1	<1
Balantidium sp.	1	Quiste/L	<1	<1	<1	<1
Isospora sp.	1	Quiste/L	<1	<1	<1	<1
Cryptosporidium sp.	1	Quiste/L	<1	<1	<1	<1
Organismos de Vida Libre (Callao)						
Algas (Total de Fitoplancton)	1	Organismos/L	<1	<1	<1	<1
Nemátodos (en todos sus estadios evolutivos)	1	Organismos/L	2	1	<1	1
Organismos de Vida Libre (Protozoarios, Copépodos, Rotíferos (Zooplancton)) (Callao)						
Protozoarios (No patógenos)	1	Organismos/L	<1	<1	<1	<1
Copépodos	1	Organismos/L	<1	<1	<1	<1
Rotíferos	1	Organismos/L	<1	<1	<1	<1

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA



AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores - Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com - www.cerper.com

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Anexo 04: Panel fotográfico



Figura 37: Toma de muestra de Wichintayani 01

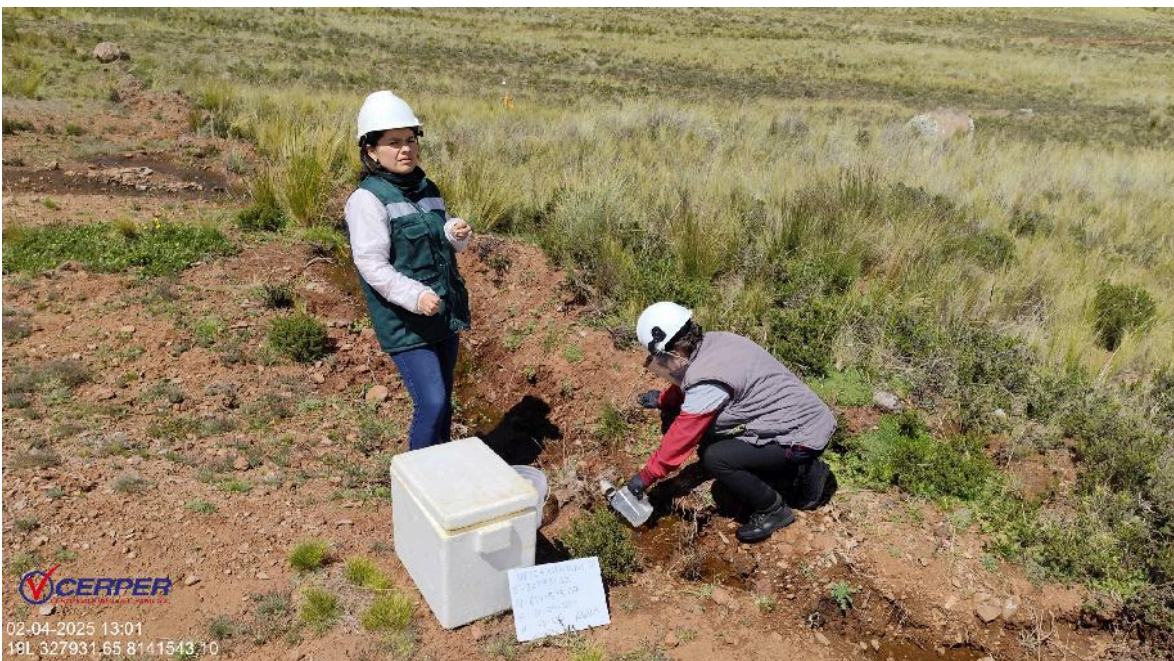


Figura 38: Toma de muestra de Wichintayani 01

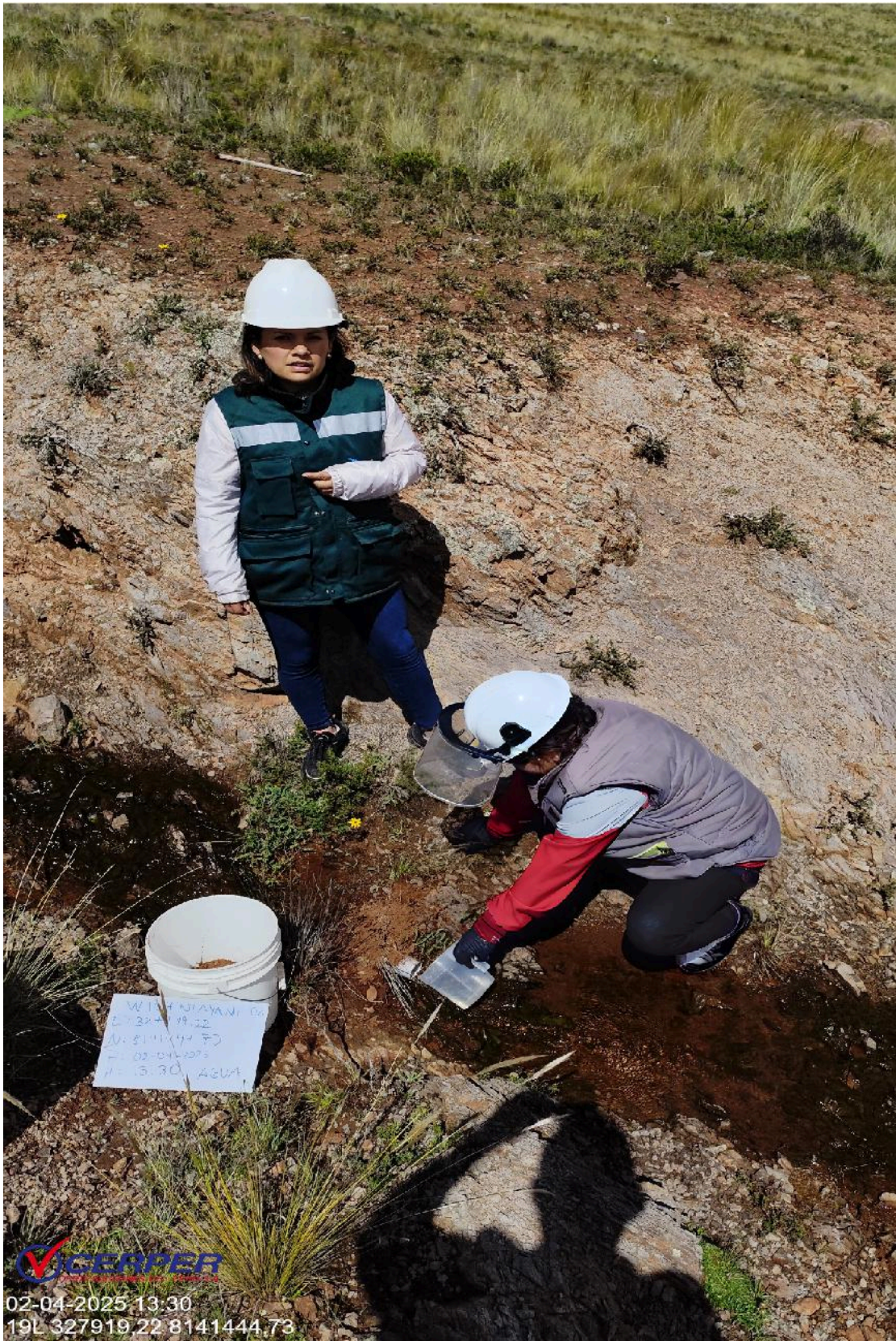


Figura 39: Toma de muestra de Wichantayani 02

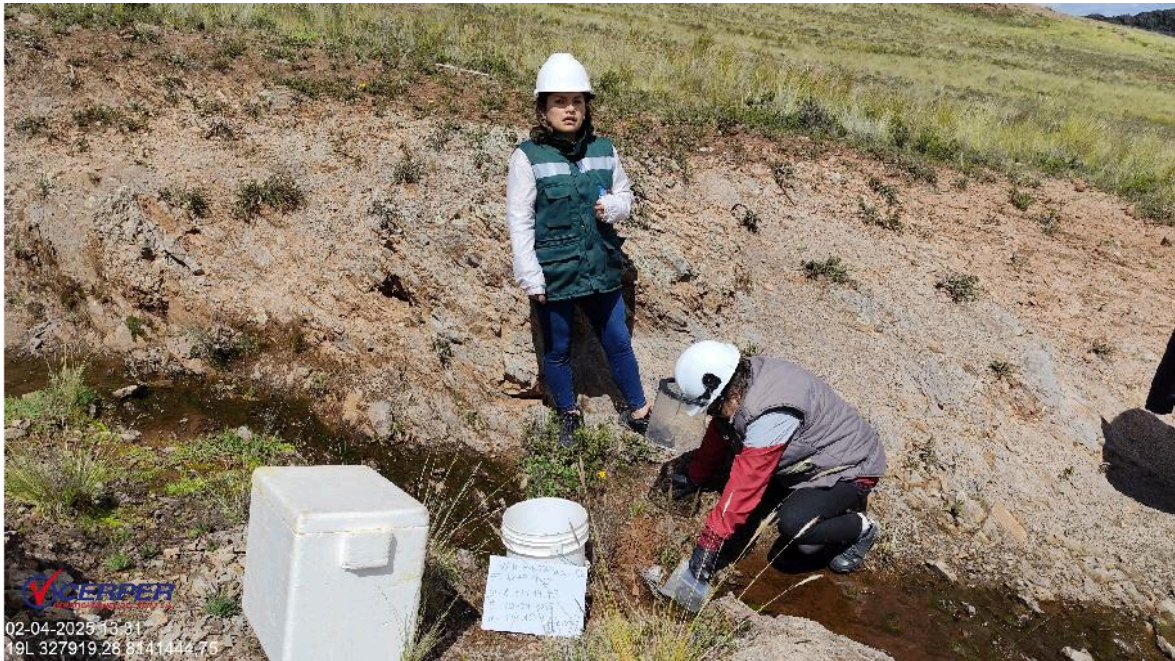


Figura 30: Toma de muestra de Wichantayani 02

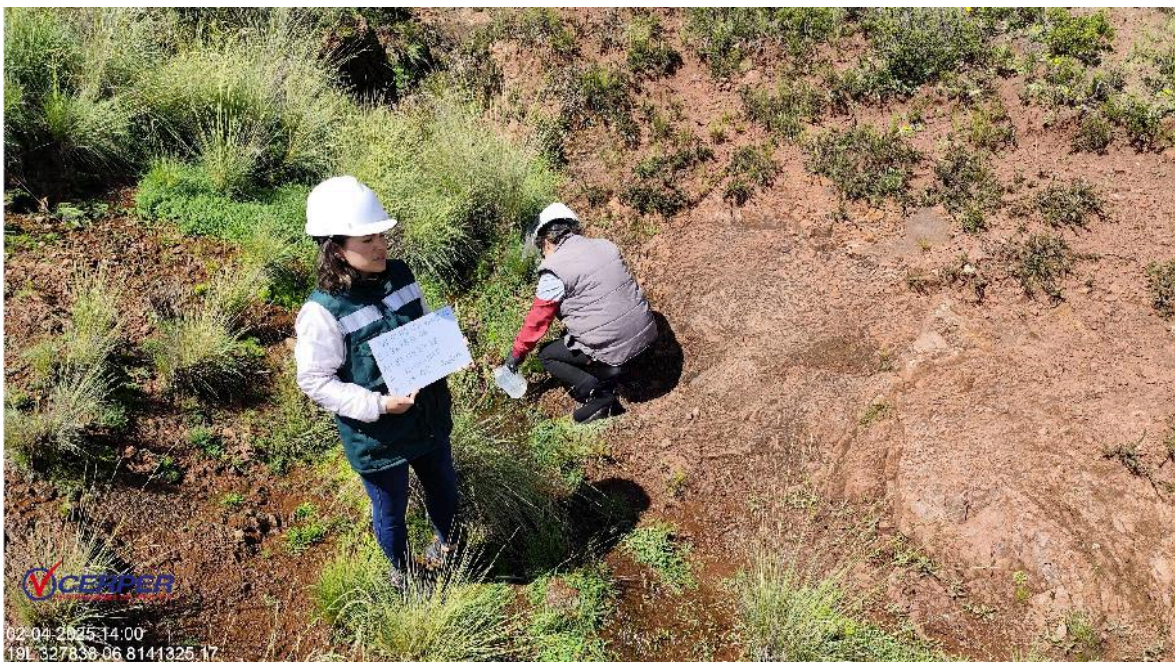


Figura 31: Toma de muestra de agua de Wichintayani 03



AQP N° 002879

OCERPER
SOLICITANTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CARHUAS
LUGAR: SECTOR WICHINTAYANI Y SECTOR CHALSARUAYA

EXPEDIENTE:
HS:
JOB NUMBER:

PERSONA DE CONTACTO: Genaro Medina Aedo

CADENA DE CUSTODIA
 (Registro de Campo - Toma de muestra de aguas, suelos y sedimentos)

PARAMETROS DE ANALISIS EN EL LABORATORIO

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	UNIDAD	RESULTADO
Temperatura Ambiente (°C)	°C	22.4	Temperatura (°C)	22.4
Temperatura (°C)	°C	24.4	Temperatura (°C)	24.4
Temperatura (°C)	°C	25.4	Temperatura (°C)	25.4
Temperatura (°C)	°C	26.4	Temperatura (°C)	26.4
Temperatura (°C)	°C	27.4	Temperatura (°C)	27.4
Temperatura (°C)	°C	28.4	Temperatura (°C)	28.4
Temperatura (°C)	°C	29.4	Temperatura (°C)	29.4
Temperatura (°C)	°C	30.4	Temperatura (°C)	30.4
Temperatura (°C)	°C	31.4	Temperatura (°C)	31.4
Temperatura (°C)	°C	32.4	Temperatura (°C)	32.4
Temperatura (°C)	°C	33.4	Temperatura (°C)	33.4
Temperatura (°C)	°C	34.4	Temperatura (°C)	34.4
Temperatura (°C)	°C	35.4	Temperatura (°C)	35.4
Temperatura (°C)	°C	36.4	Temperatura (°C)	36.4
Temperatura (°C)	°C	37.4	Temperatura (°C)	37.4
Temperatura (°C)	°C	38.4	Temperatura (°C)	38.4
Temperatura (°C)	°C	39.4	Temperatura (°C)	39.4
Temperatura (°C)	°C	40.4	Temperatura (°C)	40.4
Temperatura (°C)	°C	41.4	Temperatura (°C)	41.4
Temperatura (°C)	°C	42.4	Temperatura (°C)	42.4
Temperatura (°C)	°C	43.4	Temperatura (°C)	43.4
Temperatura (°C)	°C	44.4	Temperatura (°C)	44.4
Temperatura (°C)	°C	45.4	Temperatura (°C)	45.4
Temperatura (°C)	°C	46.4	Temperatura (°C)	46.4
Temperatura (°C)	°C	47.4	Temperatura (°C)	47.4
Temperatura (°C)	°C	48.4	Temperatura (°C)	48.4
Temperatura (°C)	°C	49.4	Temperatura (°C)	49.4
Temperatura (°C)	°C	50.4	Temperatura (°C)	50.4
Temperatura (°C)	°C	51.4	Temperatura (°C)	51.4
Temperatura (°C)	°C	52.4	Temperatura (°C)	52.4
Temperatura (°C)	°C	53.4	Temperatura (°C)	53.4
Temperatura (°C)	°C	54.4	Temperatura (°C)	54.4
Temperatura (°C)	°C	55.4	Temperatura (°C)	55.4
Temperatura (°C)	°C	56.4	Temperatura (°C)	56.4
Temperatura (°C)	°C	57.4	Temperatura (°C)	57.4
Temperatura (°C)	°C	58.4	Temperatura (°C)	58.4
Temperatura (°C)	°C	59.4	Temperatura (°C)	59.4
Temperatura (°C)	°C	60.4	Temperatura (°C)	60.4
Temperatura (°C)	°C	61.4	Temperatura (°C)	61.4
Temperatura (°C)	°C	62.4	Temperatura (°C)	62.4
Temperatura (°C)	°C	63.4	Temperatura (°C)	63.4
Temperatura (°C)	°C	64.4	Temperatura (°C)	64.4
Temperatura (°C)	°C	65.4	Temperatura (°C)	65.4
Temperatura (°C)	°C	66.4	Temperatura (°C)	66.4
Temperatura (°C)	°C	67.4	Temperatura (°C)	67.4
Temperatura (°C)	°C	68.4	Temperatura (°C)	68.4
Temperatura (°C)	°C	69.4	Temperatura (°C)	69.4
Temperatura (°C)	°C	70.4	Temperatura (°C)	70.4
Temperatura (°C)	°C	71.4	Temperatura (°C)	71.4
Temperatura (°C)	°C	72.4	Temperatura (°C)	72.4
Temperatura (°C)	°C	73.4	Temperatura (°C)	73.4
Temperatura (°C)	°C	74.4	Temperatura (°C)	74.4
Temperatura (°C)	°C	75.4	Temperatura (°C)	75.4
Temperatura (°C)	°C	76.4	Temperatura (°C)	76.4
Temperatura (°C)	°C	77.4	Temperatura (°C)	77.4
Temperatura (°C)	°C	78.4	Temperatura (°C)	78.4
Temperatura (°C)	°C	79.4	Temperatura (°C)	79.4
Temperatura (°C)	°C	80.4	Temperatura (°C)	80.4
Temperatura (°C)	°C	81.4	Temperatura (°C)	81.4
Temperatura (°C)	°C	82.4	Temperatura (°C)	82.4
Temperatura (°C)	°C	83.4	Temperatura (°C)	83.4
Temperatura (°C)	°C	84.4	Temperatura (°C)	84.4
Temperatura (°C)	°C	85.4	Temperatura (°C)	85.4
Temperatura (°C)	°C	86.4	Temperatura (°C)	86.4
Temperatura (°C)	°C	87.4	Temperatura (°C)	87.4
Temperatura (°C)	°C	88.4	Temperatura (°C)	88.4
Temperatura (°C)	°C	89.4	Temperatura (°C)	89.4
Temperatura (°C)	°C	90.4	Temperatura (°C)	90.4
Temperatura (°C)	°C	91.4	Temperatura (°C)	91.4
Temperatura (°C)	°C	92.4	Temperatura (°C)	92.4
Temperatura (°C)	°C	93.4	Temperatura (°C)	93.4
Temperatura (°C)	°C	94.4	Temperatura (°C)	94.4
Temperatura (°C)	°C	95.4	Temperatura (°C)	95.4
Temperatura (°C)	°C	96.4	Temperatura (°C)	96.4
Temperatura (°C)	°C	97.4	Temperatura (°C)	97.4
Temperatura (°C)	°C	98.4	Temperatura (°C)	98.4
Temperatura (°C)	°C	99.4	Temperatura (°C)	99.4
Temperatura (°C)	°C	100.4	Temperatura (°C)	100.4

OCERPER
02 ABR 2025
DEPARTAMENTO AREA DE MUESTRAS AREQUIPA

(1) Matriz (s)
 AC = Agua para uso y consumo humano
 AH = Agua Natural
 AP = Agua de proceso
 ASA = Agua Sólida
 AR = Agua Residual
 SM = Sólidos
 SJ = Suelo
 Otro

Condiciones de las muestras:
 Temperatura ambiente () Cielos despejados ()
 Humedad relativa ()
 Heliómetro ()

Equipos Utilizados:

Equipo	Utilizado
1. Horno de secado	✓
2. Balanza analítica	✓
3. Refrigerador	✓

Observaciones:

Responsable de la toma de muestra
 Inspector Cesar: *Genaro Medina Aedo*
 Hora de inicio: 15:00

Representante del cliente
 Nombre: Genaro Medina Aedo
 DNI: 01308595
 Cargo: Consultor

Recepción de Muestras
 Nombre: *Elva Herrera B.*
 Fecha: 02-04-25
 Hora: 09:15

OUR-0148
 Versión 02
 01/01/2016