

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**ESTUDIO FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE LA
CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL EN EL ÁREA DE
INFLUENCIA DEL PROYECTO PUCAMARCA
(MINSUR), PERÍODO 2015 – 2020**

TESIS

PRESENTADA POR:

AMPARO YASHIRA TORRES VENTURA

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGISTER SCIENTIAE*) CON MENCIÓN
EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

TACNA – PERÚ


2023


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA
ESCUELA DE POSGRADO


MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE


**ESTUDIO FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE LA CALIDAD DE
AGUA SUPERFICIAL EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO
PUCAMARCA (MINSUR), PERÍODO 2015 – 2020**

Tesis sustentada y aprobada el 02 de noviembre del 2023; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : 
Dr. Gregorio Pedro Tejada Monroy

SECRETARIO : 
Dr. Tolómeo Raúl Soto Pérez

MIEMBRO : 
Dr. Dante Ulises Morales Cabrera

ASESOR : 
Dr. Dante Ulises Morales Cabrera

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Dante Ulises Morales Cabrera en mi condición de Asesor CERTIFICO que: el informe de tesis titulada: "**ESTUDIO FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO PUCAMARCA (MINSUR), PERÍODO 2015 - 2020**", desarrollado por la egresada de la maestría en ciencias con mención en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible, **AMPARO YASHIRA TORRES VENTURA**, para optar el Grado Académico de Magister en Ciencias Ambientales.

Que, conforme al análisis de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual de la UNJBG, mediante el software de similitud textual TURNITIN obtiene los siguientes resultados:

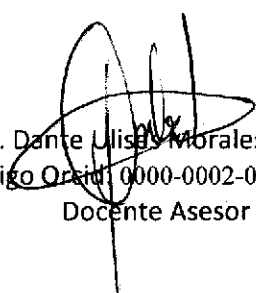
Código de identificación de reporte : oid: 23228:250929284

Porcentaje de similitud : 10%

Nivel : Permitido

Por lo que **CERTIFICO QUE LA SIMILITUD** del Informe de Tesis está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**. La tesista puede continuar con el proceso de su sustentación de la Tesis.

Se emite el presente certificado para los fines correspondientes.


Dr. Dante Ulises Morales Cabrera
Código Orcid: 0000-0002-0967-3207
Docente Asesor

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Jesús e Inés, quienes, con su esfuerzo, dedicación y abnegación, me apoyaron en la realización de mis metas. Gracias por sus consejos y palabras de aliento.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo ha sido desarrollado gracias al apoyo del proyecto de investigación “Presencia de Arsenito y Arseniato en el agua de la cuenca hidrográfica de Caplina-Tacna y su remoción mediante tecnologías basadas en energías renovables”, agradecer a los docentes investigadores Dr. Dante Ulises Morales Cabrera y el Mgr. Luis Johnson Mori Sosa por su orientación, por su aporte en mi desarrollo profesional y colaboración en el desarrollo de esta tesis.

Al Comité de Monitoreo y Vigilancia Ambiental Participativo de Tacna, por haberme permitido acceder a la información.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 SITUACIÓN CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.2 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	5
1.3 FORMULACIÓN DE LOS PROBLEMAS	6
1.3.1 Problema general	6
1.3.2 Problemas específicos	6
1.4 ESCENARIO DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.5.1 Justificación teórica	7
1.5.2 Justificación metodológica.....	8
1.5.3 Justificación práctica	8
1.6 OBJETIVOS.....	8
1.6.1 Objetivo general	8
1.6.2 Objetivos específicos.....	8
1.7 HIPÓTESIS.....	9
1.7.1 Hipótesis general.....	9
1.7.2 Hipótesis específicas.....	9

1.8	CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES	11
1.9	POSIBLES DIFICULTADES PARA LA REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.10	CARACTERÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.10.1	Enfoque de la investigación.....	12
1.10.2	Tipo de investigación.....	12
1.10.3	Nivel de investigación.....	12
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....		13
2.1	ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	13
2.1.1	Antecedentes internacionales.....	13
2.1.2	Antecedentes nacionales.....	15
2.2	BASES TEÓRICAS.....	17
2.2.1	Calidad del agua.....	17
2.2.2	Parámetros de calidad del agua	20
2.2.3	Muestreo de agua.....	27
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	29
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		32
3.1	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	32
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	32
3.2.1	Población.....	32
3.2.2	Muestra	32
3.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	33
3.3.1	Técnica.....	33

3.3.2	Instrumento	33
3.3.3	Validación y confiabilidad	33
3.4	ANÁLISIS DE LOS DATOS O ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	33
CAPÍTULO IV RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN		35
4.1	ANÁLISIS DESCRIPTIVO.....	35
4.1.1	Parámetros físicos.....	35
4.1.2	Parámetros químicos.....	43
4.1.3	Parámetros microbiológicos	52
4.2	ANÁLISIS INFERENCIAL	54
4.2.1	Hipótesis específica 1.....	54
4.2.2	Hipótesis específica 2.....	56
4.2.3	Hipótesis específica 3.....	61
4.2.4	Hipótesis general.....	63
DISCUSIÓN		66
CONCLUSIONES		69
RECOMENDACIONES		70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		72
ANEXOS		76
	Anexo 01: Matriz de consistencia	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>pH del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo</i>	35
Tabla 2 <i>pH del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020</i>	35
Tabla 3 <i>Temperatura del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo</i>	37
Tabla 4 <i>Temperatura del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020</i>	37
Tabla 5 <i>Conductividad del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo</i>	39
Tabla 6 <i>Conductividad del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020</i>	39
Tabla 7 <i>Turbidez del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo</i>	41
Tabla 8 <i>Turbidez del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020</i>	41

Tabla 9 <i>Oxígeno disuelto del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo</i>	43
Tabla 10 <i>Oxígeno disuelto del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020.....</i>	43
Tabla 11 <i>Sólidos totales disueltos del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo</i>	45
Tabla 12 <i>Sólidos totales disueltos del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020</i>	45
Tabla 13 <i>Metales pesados en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo</i>	47
Tabla 14 <i>Metales pesados en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020.....</i>	47
Tabla 15 <i>Compuestos orgánicos en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo</i>	48
Tabla 16 <i>Compuestos orgánicos en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020</i>	49
Tabla 17 <i>Nutrientes en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo</i>	50

Tabla 18 <i>Nutrientes en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020.....</i>	50
Tabla 19 <i>Coliformes en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo</i>	52
Tabla 20 <i>Coliformes en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020.....</i>	52
Tabla 21 <i>Estadísticos de la hipótesis específica 1</i>	55
Tabla 22 <i>Estadístico de comprobación de la hipótesis específica 1</i>	55
Tabla 23 <i>Estadísticos de la hipótesis específica 2 (1).....</i>	57
Tabla 24 <i>Estadísticos de la hipótesis específica 2 (2).....</i>	58
Tabla 25 <i>Estadísticos de la hipótesis específica 2 (3).....</i>	58
Tabla 26 <i>Estadísticos de la hipótesis específica 2 (4).....</i>	59
Tabla 27 <i>Estadístico de comprobación de la hipótesis específica 2</i>	59
Tabla 28 <i>Estadísticos de la hipótesis específica 3.....</i>	62
Tabla 29 <i>Estadístico de comprobación de la hipótesis específica 3</i>	62
Tabla 30 <i>Cumplimiento de rangos máximos permisibles según normativa peruana en los tres puntos de evaluación</i>	64
Tabla 31 <i>Estadístico de comprobación de hipótesis</i>	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>pH del agua superficial en el área de influencia del proyecto</i> <i>Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020</i>	36
Figura 2 <i>Temperatura del agua superficial en el área de influencia del proyecto</i> <i>Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020</i>	38
Figura 3 <i>Conductividad del agua superficial en el área de influencia del</i> <i>proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020</i>	40
Figura 4 <i>Turbidez del agua superficial en el área de influencia del proyecto</i> <i>Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020</i>	42
Figura 5 <i>Oxígeno disuelto del agua superficial en el área de influencia del</i> <i>proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020</i>	44
Figura 6 <i>Sólidos totales disueltos del agua superficial en el área de influencia</i> <i>del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020</i>	46
Figura 7 <i>Coliformes en agua superficial en el área de influencia del proyecto</i> <i>Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020</i>	53

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal determinar el estudio fisicoquímico y microbiológico para la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020. Metodología: Cuantitativo, básico, descriptivo – explicativo, no experimental – longitudinal y retrospectivo, empleando una ficha de observación como instrumento de recolección de datos. Resultados: Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, evaluados en tres estaciones de monitoreo durante el período 2015 al 2020, se mantuvieron bajo los límites máximos permisibles por la normativa peruana vigente para la evaluación de calidad del agua; cumpliéndose en el 93,71 % de los casos, siendo excepcionalmente 96,49 % en el año 2018. Conclusión: El estudio fisicoquímico y microbiológico influye en la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

Palabras clave: Estudio fisicoquímico, estudio microbiológico, calidad del agua.

ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the physicochemical and microbiological study for the evaluation of the quality of surface water in the area of influence of the Pucamarca Project (MINSUR), period 2015 - 2020. Methodology: Quantitative, basic, descriptive - explanatory, not experimental - longitudinal and retrospective, using an observation sheet as a data collection instrument. Results: The physical, chemical and microbiological parameters evaluated in three monitoring stations during the period 2015 to 2020 remained under the maximum permissible limits by current Peruvian regulations for the evaluation of water quality; being fulfilled in 93.71 % of the cases, being exceptionally 96.49 % in the year 2018. Conclusion: The physical, chemical and microbiological study influences the evaluation of the quality of surface water in the area of influence of the Pucamarca Project (MINSUR), period 2015 – 2020.

Keywords: Physicochemical study, microbiological study, water quality.

INTRODUCCIÓN

El acceso a agua de calidad es esencial para la salud humana y el bienestar de los ecosistemas acuáticos. En este contexto, la evaluación de la calidad del agua es un aspecto fundamental para garantizar su adecuado uso y protección. El presente estudio se enfoca en el análisis fisicoquímico y microbiológico de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca, desarrollado por la empresa MINSUR, durante el período comprendido entre 2015 y 2020.

El Proyecto Pucamarca se ubica en una región de gran importancia ecológica en Perú, y está dedicado a la extracción de minerales mediante diversas actividades mineras. La explotación de recursos naturales en esta área plantea la necesidad de monitorear de manera rigurosa y sistemática la calidad del agua superficial, con el objetivo de evaluar posibles impactos ambientales y riesgos para la salud humana.

El estudio fisicoquímico y microbiológico de la calidad del agua superficial en el área de influencia de un proyecto minero como Pucamarca, adquiere una relevancia particular, ya que permite identificar y cuantificar los componentes químicos y biológicos presentes en el agua, así como evaluar su conformidad con los estándares de calidad establecidos por las autoridades competentes. Esto proporciona una base sólida para la toma de decisiones en cuanto a la gestión ambiental y el diseño de estrategias de mitigación en caso de detectarse problemas o riesgos.

Durante el período de estudio, se recolectaron muestras de agua superficial en diferentes puntos dentro del área de influencia del Proyecto Pucamarca, y se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos exhaustivos para evaluar la calidad del agua en función de parámetros como pH, conductividad eléctrica, turbidez, presencia de metales pesados, compuestos orgánicos y microorganismos indicadores de contaminación fecal, entre otros.

Los resultados obtenidos a partir de este estudio contribuyen a comprender el estado actual de la calidad del agua en el área de influencia de Pucamarca y a identificar posibles fuentes de contaminación o riesgos asociados a las actividades mineras. Además, brindan información valiosa para el diseño de medidas preventivas y correctivas, destinadas a salvaguardar la calidad del agua y proteger los ecosistemas acuáticos y la salud de las comunidades locales.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 SITUACIÓN CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

El acceso al agua potable es una necesidad humana fundamental y, por ende, un derecho básico; el acceso a agua contaminada pone en riesgo la salud física y social de todos los individuos, llegando a considerarse una afrenta a la dignidad humana (Orbegozo, 2021).

A pesar de que sólo el 0,007 % de toda el agua a nivel mundial, está disponible para consumo humano, la distribución de la misma de manera potable, es muy desigual, debido a que son diez los países que llegan a concentrar las mayores reservas de agua dulce en el mundo. El líquido elemento es crítico para la supervivencia de los seres humanos, de los aproximadamente 1 386 millones de kilómetros cúbicos de reservas de agua, el 97,5 % es salada, es decir, únicamente el 2,5 % es agua dulce y el 69,7 % del agua dulce está congelada en los polos o glaciares, 30 % es subterránea y 0,3 % se encuentra en ríos o lagos no potabilizados (El Ágora, 2021).

Entre los países con mayor reserva de agua dulce se encuentran: Brasil con 8 233 km³, Rusia con 4 067 km³, Canadá con 3 300 km³, Estados Unidos con 3 069 km³, China con 2 840 km³, Colombia con 2 132 km³, Unión Europea con 2 057 km³, Indonesia con 2 019 km³, India con 1 911 km³ y República Democrática del Congo con 1 200 km³ (El Ágora, 2021).

A pesar de esta situación, cada día cerca de 2 millones de toneladas de aguas residuales desembocan en las aguas del mundo, siendo la principal fuente de contaminación la falta de gestión y tratamiento adecuado de los residuos humanos, industriales y agrícolas (Aqua ODS, 2021). Además, aproximadamente 2 mil millones de personas a nivel mundial, beben agua que podría estar contaminada, la FCEA establece que las principales causas de la contaminación del agua son el vertido de desechos industriales, vertido de desechos municipales, aumento de la temperatura del agua, deforestación y erosión del suelo, uso de pesticidas y fertilizantes, y depositar desechos sólidos, a tal punto que el 80 % de las aguas residuales retornan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas, generando que cada año 297 000 niños mueran a causa de enfermedades diarreicas, a causa de malas condiciones sanitarias o agua no potable (Milo, 2022).

América Latina ha basado su economía en la explotación de recursos naturales, siendo los depósitos minerales las principales generadoras de inversión extranjera con interés industrial, existiendo principalmente empresas de origen canadiense, británica y china. México es el principal productor de plata, Chile de cobre, Bolivia de litio, Brasil ocupa el tercer lugar como productor de hierro y Perú está entre los primeros productores de plata, cobre y oro. Entre este conjunto de países se concentra el 85 % de las exportaciones de minerales de la región. (Martínez P., 2021).

El sector minero enfrenta cada día un panorama más grave de escasez hídrica y demanda social e institucional con compromiso social y ambiental,

debido a que se trata de actividades que de manera inevitable afectan el medio ambiente y contaminan el agua, suelo y aire, generando una gran descarga de materiales tóxicos, partículas finas y gases contaminantes, degradando el suelo y arriesgando la supervivencia de la biota que equilibra el ecosistema.

La industria minera forma la base de la economía del Perú, según el Anuario Minero 2020 del Ministerio de Energía y Minas (Minem), el sector representó el 62 % de las exportaciones nacionales. Sólo en el año 2017 el 38 % de los proyectos de extracción se hallaron en territorios indígenas y campesino, y el 56 % en territorios por encima de los 3 000 m.s.n.m., surgiendo cada año innumerables disputas, en las cuales las comunidades exigen justifica en su derecho al agua de calidad, a tal punto que en el 2021 se registraron 84 conflictos socioambientales vinculados a las actividades mineras, una de las cifras más altas de América Latina (Heikkinen, 2022).

1.2 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

El proyecto minero Pucamarca se encuentra ubicado en el distrito de Palca, en la provincia de Tacna. En 2011 la compañía minera Minsur inició los trabajos de exploración de la unidad minera Pucamarca, ubicada a 52 kilómetros de la ciudad de Tacna, a más de 4,500 msnm y está ubicado cerca del hito 52 de la frontera chileno-peruana.

La mina, que se encuentra en operaciones desde el año 2013, extrae oro desde el cerro Checollo y lo procesa mediante la técnica de lixiviación,

procedimiento que en el caso aurífero se realiza con cianuro, producto altamente tóxico para la vida y que se encuentra prohibido en varios países y territorios.

De acuerdo a la denuncia de varios dirigentes, se indica que las operaciones mineras de Pucamarca se encontrarían contaminando con metales pesados y cianuro las aguas que recorren los pozos subterráneos y que nutren al río Lluta, situación agravada por la extracción indiscriminada de recursos hídrico para los procesos mineros, que como consecuencia ha secado partes significativas de los bofedales.

Esta situación de rechazo se viene arrastrando desde el inicio de trabajos de exploración y extracción de la unidad minera, a tal punto que en el 2013 cerca de 19 585 personas expresaron su rechazo al proyecto Pucamarca en el distrito de Palca, denotando que el 98,6 % de los participantes de la consulta ciudadana se pronunciaron en contra y solo el 0,1 % se mostró a favor.

1.3 FORMULACIÓN DE LOS PROBLEMAS

1.3.1 Problema general

¿El estudio fisicoquímico y microbiológico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020?

1.3.2 Problemas específicos

¿El estudio físico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020?

¿El estudio químico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020?

¿El estudio microbiológico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020?

1.4 ESCENARIO DE LA INVESTIGACIÓN

Temporalmente la investigación será desarrollada con datos pertenecientes al monitoreo de la calidad de agua en el período 2015 al 2020, obtenidos a partir de las estaciones de monitoreo ubicados en la zona de Timpure, zona o sector de Palca, campamento Pucamarca y la quebrada principal del centro poblado Vila Vilani.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Justificación teórica

Se justifica teóricamente porque en la actualidad no se tiene conocimiento sobre la existencia de información vinculada a los parámetro físicos, parámetros químicos y parámetros microbiológicos de las aguas superficiales en las áreas de influencia de proyectos mineros ejecutados bajo estándares de calidad internacional, por tanto, los resultados de la investigación ayudarán a incrementar el conocimiento sobre dichos temas, permitiendo la ampliación de conocimientos en estudiantes y profesionales interesados en el campo de estudio.

1.5.2 Justificación metodológica

Se justifica metodológicamente porque la investigación se encontrará sustentada a partir de la revisión de investigaciones en el marco internacional y nacional que posean relación con el análisis de la calidad de agua, así como la metodología de investigación y procedimientos estadísticos necesarios para un análisis pormenorizado.

1.5.3 Justificación práctica

Se justifica de manera práctica porque los resultados obtenidos a partir de la investigación permitirán la verificación del cumplimiento de los requisitos que establece el reglamento de calidad de agua, debido a que no únicamente se busca hacer un diagnóstico de la calidad del agua, sino elevar la calidad de vida de los habitantes que se encuentran dentro de la zona de alcance.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

Determinar el estudio fisicoquímico y microbiológico para la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

1.6.2 Objetivos específicos

Realizar el estudio físico para la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

Realizar el estudio químico para la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

Realizar el estudio microbiológico para la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

1.7 HIPÓTESIS

1.7.1 Hipótesis general

H1: El estudio fisicoquímico y microbiológico influye en la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

H0: El estudio fisicoquímico y microbiológico no influye en la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

1.7.2 Hipótesis específicas

El estudio físico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

El estudio químico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

El estudio microbiológico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

1.8 CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicador	Escala
Estudio físico químico y microbiológico	Estudio físico	PH Temperatura Conductividad Turbidez	Razón
	Estudio químico	Oxígenos disuelto Sólidos totales disueltos Metales pesados Compuestos orgánicos Nutrientes	Razón
	Estudio microbiológico	Coliformes fecales Coliformes totales	Razón
Calidad de agua	Calidad de agua superficial	Riego de vegetales y bebidas animales. Poblacional y recreacional.	Nominal

Nota: Elaboración propia

1.9 POSIBLES DIFICULTADES PARA LA REALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación es factible de ejecución, porque no se considera la presencia de dificultades para su realización, al ser una investigación

retrospectiva se cuenta con acceso a la base de datos de monitoreo a cargo de las entidades reguladoras pertinentes.

1.10 CARACTERÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN

1.10.1 Enfoque de la investigación

Cuantitativo, porque se recurrirá a la recolección de datos numéricos para su posterior análisis estadístico, para determinar patrones y verificar teorías (Bernal, 2016).

1.10.2 Tipo de investigación

Investigación básica, porque se buscará la ampliación y/o profundización de los conocimientos existentes sobre el análisis físico químico y microbiológico de la calidad de agua en proyectos de minería.

1.10.3 Nivel de investigación

Pertenece al nivel descriptivo y explicativo; porque se describirán los resultados de los ensayos in vitro mediante tablas y gráficos estadísticos descriptivos, además de la determinación de dependencias probabilísticas entre determinados eventos, midiendo los estadísticos de asociación y/o correlación (Gómez, 2020).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1 Antecedentes internacionales

Monsalve (2018) *“Análisis de la calidad de agua de mar y su relación con la infraestructura asociada a la actividad minera en la región de Antofagasta, entre los años 1990 – 2015”*. A través de un estudio cuantitativo, relacional y longitudinal se determinó que la clorofila oscila entre 0,020 y 0,040, presencia de sólidos en suspensión entre 0,009 a 0,70, turbidez entre 0,09 a 0,082 e índice de calidad superficial del agua de 0,009 a 0,082. Concluyendo que existe diferencia en la calidad del agua de mar, entre bahías con actividades económicas tradicionales y bahías con abundantes descargas de residuos líquidos, provenientes de infraestructuras que nutren de materia prima a la minería, energía y agua.

Calderón (2019) *“Índice de calidad de aguas costeras para Chile”*. A través de un estudio cuantitativo, aplicada y descriptiva se determinó que el índice de calidad de aguas costeras de la ecorregión norte fue de 67, Atacama obtuvo 58, Paposo Taltal con 45, Los Molles con 66, Chile Central obtuvo 60, Chiloé Taitao, Kawesqar, Magallanes e Isla de Pascua obtuvieron 78, 94, 87 y 72 respectivamente. Concluyendo que a nivel general Chile presenta una calidad razonable de Cooper, el cual puede ser mejorada a bajo costo.

Torres, Cruz y Patiño (2019) *“Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica”*. A través de un estudio cualitativo y observacional se determinó que los ICA evalúan parámetros como el oxígeno disuelto, pH, DBO, nitratos, coliformes fecales, temperatura, turbiedad y sólidos disueltos totales, los índices de CCME-WQI y DWQI presentan estructuras de cálculo que permiten una evaluación más amplia e integral de la calidad del agua, debido a que toma en cuenta la variación en el tiempo y el espacio. Concluyendo que, dependiendo del nivel de riesgo sanitario en la fuente, se recomienda que el índice de calidad de agua que se adapte o desarrolle para la fuente específica toma en cuenta parámetros asociados al riesgo.

Jiménez, Rodríguez, Acosta y Garza (2017) *“Análisis fisicoquímico y microbiológico de agua purificada en Reynosa, Tamaulipas”*. A través de un estudio cuantitativo, no experimental y prospectivo se determinó que los resultados obtenidos para todos los parámetros analizados se encontraron dentro de los límites permisibles de la Norma Oficial Mexicana NOM-041-SSA1-1993, el recuento microbiano fue de cero para todas las muestras. Concluyendo que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua en las fuentes fijas y pipas móviles distribuidoras de agua purificada evidencian buena calidad, con parámetros dentro de lo establecidos en la normativa mexicana.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Cruz y Delgado (2022) *“Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua de consumo de la Comunidad de Mollehuaca - distrito Huanuahuano - provincia Caravelí - Arequipa, febrero - abril 2022”*. A través de un estudio cuantitativo, descriptivo, no experimental, prospectivo y transversal se determinó presencia de coliformes totales (reservorio >22,67, p. intermedio <8,40, p. final <15,37), coliformes termotolerantes (reservorio >22,67, p. intermedio <1,0, p. final <1,87), *Escherichia coli* (reservorio <1,10, p. intermedio <1,10, p. final <1,80), pH entre 6,5 y 8,5, color <1 UC, turbiedad <15 UNT y cloro residual (reservorio = 0,31, p. intermedio <0,0597, p. final <0,0627). Concluyendo que el agua de consumo de la comunidad de Mollehuaca no es apta, al no cumplir la normativa del agua para consumo humano del MINSA.

Orbegozo (2021) *“Verificación del cumplimiento de los parámetros del reglamento de la calidad del agua para el caserío Los Rosos, mediante el monitoreo físico - químico y microbiológico del manantial El Tutumo - Suyo, período junio a septiembre del 2019”*. A través de un estudio experimental, prospectivo, descriptivo y longitudinal se determinó que los parámetros fisicoquímicos son de 6,5 a 8,5 en potencial de hidrógeno, cloruro (mg/L) < 250mg/L, dureza (mg/L) < 500mg/L, nitratos < 50mg/L, conductividad < 1500 (us/cm), ausencia de químico como arsénico y plomo, presencia de coliformes totales, presencia de coliformes termotolerantes, bacterias heterotróficas <500(UFC/100), sin presencia de huevos y larvas de helmintos. Concluyendo

que los parámetros fisicoquímicos no superan lo establecido en el D.S. 031-2010 Ministerio de Salud, los parámetros microbiológicos superan lo establecido en el D.S. 031-2010 Ministerio de Salud, y, finalmente, el agua del manantial no es apta para consumo humano de manera directa, requiriendo un tratamiento de desinfección previo.

Carhuamaca (2020) *“Análisis fisicoquímico y microbiológico para la evaluación de la calidad del agua de mina de drenajes efluentes de la estación 2210 CÍA Minera Casapalca S.A.”*. A través de un estudio descriptivo – experimental y básica se determinó que los cálculos de alcance fueron de 2500.00, la frecuencia 194.70 y la amplitud de 33.1843, teniendo un valor según lca de 69.95 el cual según las tablas de identificación e interpretación se tiene una calidad de agua de mina regular. Concluyendo que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos no se encuentran fuera de la norma de regulación de la calidad de agua.

Mendoza (2018) *“Evaluación fisicoquímica de la calidad del agua superficial en el Centro Poblado de Sacsamarca, región Ayacucho, Perú”*. A través de un estudio experimental y descriptivo se determinó que las concentraciones de fosfatos (>1,0 mg/L) y arsénico (>0,1 mg/L) fueron los únicos parámetros que registraron valores por encima del ECA para agua, además, se registró presencia de fosfatos mayores a 1mg/L en el puquial y cantidades elevadas de arsénico (0,13 ppm) en el río Caracha, producto de la ausencia de

vigilancia de las aguas superficiales y falta de coordinación con instancias institucionales superiores. Concluyendo que el agua de la laguna de Uerpococcha y el reservorio pueden seguir usándose con normalidad, pero en el puquial se debe prescindir del lavado de prendas de vestir, al igual que en el río Colmapaccha.

Rojas (2018) *“Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de agua de consumo humano del Centro Poblado de San Marcos, distrito de Chontabamba, provincia de Oxapampa – 2018”*. A través de un estudio aplicado, descriptiva, cuantitativo y no experimental se determinó que el centro poblado de San Marco tiene un ICA de 82,35 mediante el método NSF, registrando ponderaciones de 0,17 para OD, 0,15 para coliformes fecales, 0,13 para pH, 0,12 para DBO5, 0,10 para NO3-N, 0,10 para fosfatos, 0,10 para desviación de temperatura, 0,10 para turbiedad y 0,08 para SDT. Concluyendo que el agua que viene consumiendo la población es buena.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Calidad del agua

Se denomina de esta manera a cualquier masa de agua, sea este de carácter superficial o subterránea que depende de diversos factores naturales como de la acción humana. Sin participación humana, la calidad del agua se encontraría determinada por la presencia de sustratos minerales a causa de la erosión, así como procesos atmosféricos de evapotranspiración y la sedimentación de lodos y sales, lixiviación de las materias orgánicas de manera

natural, nutrientes del suelo, procesos biológicos que pueden en gran medida alterar la composición física y química del recurso natural (Sierra, 2021).

De manera general, la calidad del agua se encuentra determinada por la comparación de los parámetros o características físicas y químicas de diferentes muestras de agua con los parámetros de calidad estipulados en los reglamentos y/o estándares nacionales e internacionales. Cuando se estudian casos de agua potable, dichos estándares son establecidos para asegurar que el suministro de agua sea apto para el consumo humano, protegiendo a través de ella la salud de las personas (Pradana & Gallego, 2018).

La pérdida constante de los niveles aceptables de calidad de agua se ha vuelto un motivo de preocupación a nivel internacional, más aún con el crecimiento acelerado de la población, la expansión de las actividades industriales, agrícolas y amenazas de cambios climáticos como principales causas de alteraciones en los ciclos hidrológicos. Además, otro factor que cuenta con igual o mayor importancia son las amenazas microbiológicas, razón de preocupación de los principales países desarrollados o en vías de desarrollo; cambios climáticos que provocan variaciones en la temperatura del agua y los patrones de las precipitaciones pluviales, generando sequías severas y prolongadas, incremento en los registros de inundaciones con subsecuente consecuencia en la calidad y escasez del agua, destacando también la

importancia de una adecuada gestión de dichos impactos; contaminantes químicos presentes en el agua potable, pesticidas para control de los vectores, presencia de factores químicos con efectos perjudiciales para la salud a grandes escalas por su presencia en el agua potable, como el arsénico, fluoruro, plomo, nitrato, selenio y uranio; la importancia que juegan los diferentes actores implicados en garantizar la seguridad del agua, orientaciones en casos de diferentes métodos de suministro y gestión comunitaria para la recolección de agua de lluvia u otros medios no canalizados (Frías & Montilla, 2016).

Es necesario resaltar que la degradación de la calidad del agua no solo afecta el suministro para consumo humano, sino también tiene un impacto significativo en los ecosistemas acuáticos. Los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos, son hábitats vitales para una amplia variedad de especies acuáticas y terrestres que dependen directa o indirectamente de estos ecosistemas. La contaminación del agua con productos químicos tóxicos, nutrientes excesivos y otros contaminantes puede alterar drásticamente la biodiversidad y provocar efectos devastadores en la fauna y flora acuática, lo que a su vez desencadena efectos en cascada en toda la cadena alimentaria (Anderson, Smith, & Johnson, 2019).

Para hacer frente a los desafíos que plantea la protección y restauración de la calidad del agua, se requiere una acción concertada a nivel global y local. Los gobiernos, las organizaciones no gubernamentales y la sociedad en su

conjunto deben unir fuerzas para implementar políticas de gestión sostenible del agua, promover prácticas agrícolas e industriales más limpias, y fomentar el uso responsable de los recursos hídricos. Además, es esencial invertir en investigación y tecnología para el desarrollo de métodos de tratamiento de agua más eficientes y accesibles, especialmente en regiones con escasez de recursos (García, Torres, & Pérez, 2022).

La educación y la concienciación pública también desempeñan un papel fundamental en la protección del agua. Crear una mayor comprensión sobre la importancia de este recurso, así como los impactos de nuestras acciones diarias en su calidad, puede motivar a individuos y comunidades a adoptar prácticas más sostenibles en el uso y manejo del agua. Pequeñas acciones, como reducir el desperdicio de agua en el hogar o participar en iniciativas de limpieza de cuerpos de agua locales, pueden marcar la diferencia en la preservación de este recurso vital (López & Ramírez, 2023).

2.2.2 Parámetros de calidad del agua

2.2.2.1 Parámetros físicos

Los parámetros físicos permiten determinar cualitativamente el estado y tipo de agua. Los parámetros físicos del agua varían en el espacio y en el tiempo y entre las más representativas se encuentran (Arias, 2018):

- A. Temperatura: factor crucial que influye en el desarrollo y supervivencia de la vida acuática, así como en las reacciones químicas y sus

velocidades. Esta medida del grado de calor se expresa en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) y se determina mediante termómetros de mercurio o digitales. La temperatura afecta directamente la actividad biológica y el metabolismo de los organismos acuáticos, lo que puede determinar su distribución y abundancia en un ecosistema acuático. Además, las reacciones químicas en el agua, como la disolución de gases y minerales, se ven fuertemente influenciadas por la temperatura.

- B. Potencial de hidrógeno: Es una medición que refleja la concentración de iones de hidrógeno en un medio acuoso. Aguas con valores fuera de los rangos normales (6 a 9) pueden volverse dañinas para la vida acuática, afectando su equilibrio y funcionamiento. Un pH fuera de este rango puede alterar la disponibilidad de nutrientes y afectar la solubilidad de minerales y compuestos químicos esenciales para la vida acuática. La variación del pH puede afectar la reproducción, crecimiento y supervivencia de los organismos acuáticos, lo que a su vez puede alterar la estructura y función de los ecosistemas acuáticos.
- C. Color verdadero: Es aquel que se debe a sustancias disueltas presentes después de eliminar la turbiedad y se mide en unidades de platino cobalto (Pt-Co), basadas en 1 mg/L de Pt. Esta coloración puede ser causada por la presencia de materias orgánicas coloreadas o minerales en el agua. El color verdadero puede afectar la transparencia y calidad visual del agua, lo que a su vez puede tener implicaciones para la vida acuática y la fotosíntesis de las plantas.

acuáticas. Además, ciertas sustancias disueltas pueden afectar la capacidad de filtración de las plantas de tratamiento de agua y pueden causar problemas estéticos y operacionales en sistemas de abastecimiento de agua.

- D. Turbiedad: Mide la cantidad de materias suspendidas en el agua que interfieren con el paso de la luz a través del medio acuático. Se expresa en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) y se evalúa con un turbidímetro. La turbiedad es un indicador importante de la claridad visual del agua y puede tener implicaciones para la vida acuática y el funcionamiento de los ecosistemas. Altos niveles de turbiedad pueden bloquear la luz necesaria para la fotosíntesis de las plantas acuáticas y pueden reducir la penetración de la luz solar en las capas más profundas del agua. Esto puede afectar la producción de oxígeno y la disponibilidad de hábitats para la vida acuática. Además, altos niveles de turbiedad en el agua pueden afectar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de agua y pueden requerir procesos adicionales para lograr la potabilización.
- E. Conductividad eléctrica: Indica la capacidad del agua para conducir electricidad y se mide en unidades de microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Este parámetro proporciona información sobre la presencia de iones disueltos en el agua, lo que puede afectar su salinidad y calidad. La conductividad eléctrica puede variar según la concentración y tipo de iones presentes en el agua, como sodio,

potasio, calcio, magnesio, cloruros y sulfatos. La medición de la conductividad eléctrica es relevante para evaluar la salinidad del agua, lo que puede afectar la vida acuática y la capacidad de los organismos para regular su equilibrio osmótico. Además, la conductividad eléctrica puede ser un indicador de la contaminación del agua por sales y productos químicos disueltos.

F. Sólidos disueltos totales: Se determinan midiendo la cantidad de sólidos presentes después de evaporar una muestra de agua a una temperatura superior a 100°C. Esta medición es relevante para evaluar la concentración de minerales y otros compuestos disueltos en el agua, lo que puede tener implicaciones en su uso y calidad para diferentes aplicaciones y ecosistemas acuáticos. Los sólidos disueltos totales incluyen sales minerales, compuestos orgánicos disueltos, nutrientes y otras sustancias disueltas presentes en el agua. La concentración de sólidos disueltos puede variar según la geología y el uso del suelo en la cuenca hidrográfica, así como debido a actividades humanas como la agricultura, la industria y el tratamiento de aguas residuales.

2.2.2.2 Parámetros químicos

Entre los principales parámetros químicos para la determinación de la calidad del agua se encuentran:

- A. Oxígeno disuelto: Desempeña un papel vital para el mantenimiento de la vida acuática, especialmente para la supervivencia de peces y otros organismos acuáticos. Este parámetro es una medida de la cantidad de oxígeno presente en el agua en forma disuelta, el cual es esencial para el proceso de respiración y metabolismo de los seres vivos sumergidos en el medio acuático.
- B. Alcalinidad: Es un indicador significativo de la capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones. Esto se debe principalmente a la presencia de ciertas sales de ácidos débiles como carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. La medición de la alcalinidad proporciona información valiosa sobre la capacidad tampón del agua, es decir, su capacidad para resistir cambios bruscos en el pH y mantener una estabilidad en su composición química.
- C. Dureza total: Se refiere a la concentración de iones de calcio y magnesio presentes en el agua. Históricamente, la dureza se relacionaba con la capacidad del agua para precipitar el jabón, y su determinación seguía siendo importante debido a sus implicaciones en la formación de incrustaciones en tuberías y equipos industriales. Sin embargo, también tiene una influencia significativa en la salud de los organismos acuáticos, ya que niveles extremos de dureza pueden afectar la capacidad de ciertos organismos para desarrollarse adecuadamente.

- D. Cloruros: Son sales formadas por la combinación del gas cloro con un metal. Si bien los cloruros están naturalmente presentes en el agua, altas concentraciones pueden resultar en sabores y olores desagradables, lo que afecta negativamente la aceptabilidad del agua para el consumo humano. Además, niveles excesivos de cloruros pueden tener efectos corrosivos en tuberías y equipos, lo que puede tener un impacto en la infraestructura de distribución de agua.
- E. Sulfatos: Son sales que se forman a partir del ácido sulfúrico y se encuentran comúnmente en todas las aguas naturales. Si bien los sulfatos no son dañinos para la salud en concentraciones normales, altos niveles de sulfatos pueden afectar el sabor del agua y, en algunos casos, tener efectos laxantes en el cuerpo humano. Además, altas concentraciones de sulfatos en el agua pueden contribuir a la corrosión de equipos y tuberías, lo que plantea desafíos técnicos en el suministro de agua.
- F. Nitratos: Son la fase más oxidada en el ciclo del nitrógeno y su presencia en el agua se debe a diversas actividades humanas, como la agricultura y la liberación de aguas residuales. Los nitratos pueden alcanzar concentraciones significativas en las etapas finales de la oxidación biológica y, cuando están presentes en niveles elevados, pueden tener consecuencias negativas para la salud humana, especialmente en bebés y niños pequeños. Los altos niveles denitratos en el agua pueden resultar en la formación de

metahemoglobina en la sangre, lo que afecta la capacidad de transporte de oxígeno del cuerpo.

2.2.2.3 Parámetros microbiológicos

Existen diversos organismos que contaminan el agua, las bacterias son los principales contaminantes del agua, los coliformes representan un indicador biológico de las descargas de materia orgánica, los coliformes totales no son indicadores estrictas de contaminación de origen fecal, puesto que existen en el ambiente como organismos libres, sin embargo, son buenos indicadores microbianos de la calidad del agua (Sampedro, 2021).

A. Los coliformes totales, pertenecientes a la familia de las Enterobacterias, desempeñan un papel crucial como indicadores de la calidad microbiológica del agua. Su presencia en el agua sugiere una posible contaminación microbiana reciente, lo que alerta sobre la potencial existencia de organismos patógenos y la deteriorada calidad del recurso hídrico. Si bien los coliformes totales no brindan información específica sobre el origen de la contaminación, su detección en muestras de agua es un indicador temprano y valioso de la posible presencia de fuentes de contaminación, lo que permite tomar medidas preventivas y de monitoreo para salvaguardar la salud pública y la sostenibilidad del ecosistema acuático.

B. Los coliformes termotolerantes son indicadores especialmente importantes para evaluar la contaminación fecal en el suministro de agua. Su presencia en el agua es un claro indicio de que el recurso hídrico puede estar contaminado con aguas residuales y desechos de origen humano o animal, los cuales pueden contener microorganismos patógenos peligrosos para la salud pública. La detección de coliformes termotolerantes en el agua potable es una señal alarmante y exige una acción inmediata para identificar las fuentes de contaminación y llevar a cabo tratamientos adecuados que garanticen la eliminación de los contaminantes fecales. La implementación de medidas de saneamiento, un manejo adecuado de las aguas residuales y la protección de las fuentes de agua son cruciales para evitar la propagación de enfermedades transmitidas por el agua y asegurar que el suministro de agua sea seguro y saludable para todos los usuarios. Además, la continua vigilancia de los niveles de coliformes termotolerantes en el agua potable es esencial para asegurar su cumplimiento con los estándares de calidad y mantener la integridad del ecosistema acuático en armonía con las necesidades humanas y ambientales.

2.2.3 Muestreo de agua

La finalidad del muestreo es la recolección de proporciones de material, cuyas características serán representativas de aquel al cual pertenece el

material, esto indica que la proporción o presencia de todos los parámetros serán los mismos en las muestras seleccionadas y el origen del cual proceden, además de las mencionadas muestras serán manipuladas de forma tal que no se generen alteraciones significativas en su composición antes de las correspondientes pruebas (Weber, 2021). La calidad de los resultados obtenidos de las muestras seleccionadas depende de las siguientes actividades:

- Formulación de los objetivos.
- Recolección de las muestras representativas.
- Manejo adecuado de las muestras y preservación.
- Revisión de lineamientos de calidad.
- Análisis apropiado de las muestras.

El muestreo de agua, como proceso inicial de los análisis de composición, despliega una función crucial al permitir a los investigadores obtener muestras representativas que les permitan determinar la población total de contaminantes y elementos químicos en el cuerpo de agua. Este procedimiento, al identificar las concentraciones de contaminantes, resulta fundamental para seleccionar la estrategia más adecuada para el tratamiento o remediación de la problemática, así como para abordar su gestión, protección y conservación de manera integral. Con una correcta planificación de muestreo, considerando la variabilidad temporal y espacial, junto con un análisis riguroso, es posible obtener datos precisos y confiables que respalden la toma de decisiones informadas para salvaguardar la calidad y disponibilidad del recurso hídrico, asegurando su

sustentabilidad y bienestar tanto para la población actual como para las generaciones venideras (Martínez M., 2022).

Por su parte Cárdenas (2022) indica que el muestreo de agua es una actividad dirigida a la recolección de una pequeña porción del total de la masa, de manera que represente lo más fidedignamente posible la calidad de la misma, en el lugar y en el momento de obtención de la muestra. La toma de muestras no sólo involucra el proceso de la obtención física de la muestra, sino también la caracterización del ambiente del cual la muestra fue tomada. Para un correcto muestreo es necesario tomar en consideración los siguientes pasos (Marín, 2020):

- Ubicación del punto de muestreo.
- Toma de muestras.
- Acondicionamiento, preservación y traslado de muestras.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- A. Ambiente: Conjunto de todas las condiciones externas que influyen sobre la vida (Frías & Montilla, 2016).
- B. Agua: Recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan (Aybar, 2019).

- C. Calidad de agua: Aquella que cumple con los requerimientos de las normas y reglamentos nacionales sobre calidad del agua (Atencio, 2018).
- D. Coliformes: Microorganismos pertenecientes a la familia Enterobacteriaceae que son de naturaleza bacilar, gramnegativos, aeróbicos o anaeróbicos facultativos (Aybar, 2019).
- E. Contaminación: Presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos superiores las establecidas en la legislación vigente (Frías & Montilla, 2016).
- F. Estándar de calidad ambiental: Indicadores que miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos que se encuentran presentes en el aire, agua o suelo (Lozano, 2021).
- G. Minerales: Sólidos homogéneos, inorgánicos y de origen natural, con una composición química definida y una disposición atómica ordenada (Aybar, 2019).
- H. Monitoreo: Seguimiento y verificación de parámetros físicos, químicos, microbiológicos u otros señalados en el reglamento (Atencio, 2018).
- I. Muestra de agua: Porción representativa del efluente o cuerpo hídrico receptor que es colectada con el fin de conocer sus características físicas, químicas y biológicas (Lozano, 2021).
- J. Parámetros: Características físicas, químicas y biológicas, de calidad del agua, que puede ser sometido a medición (Lozano, 2021).

K. Residuos sólidos: Material residual sólido procedentes de actividades urbanas, industriales o agrarias (Aybar, 2019).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

No experimental – longitudinal y retrospectivo, debido a que no se realizará la manipulación de las variables de estudio que serán recolectados en varios momentos en el tiempo, datos e información previamente existente.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 Población

La población es un conjunto de casos que mantienen características similares de tiempo, lugar y contenido (Bernardo, y otros, 2018). En la presente investigación la población estará conformada por la totalidad de informes de monitoreo participativo de calidad de agua superficial desarrollado por la empresa ALS LS PERÚ S.A.C.

3.2.2 Muestra

La muestra es una parte representativa de la población sobre el cual se realizarán las mediciones y permitirán la inferencia estadística de los resultados a la población (Hernández, 2018). En la presente se acudirá a un muestreo no probabilístico por conveniencia, por tanto, la muestra será conformada por los informes de monitoreo desarrollados entre el período 2015 al 2020.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1 Técnica

Se aplicará la técnica de la observación, procedimiento a través del cual el investigador se encuentra directamente en el lugar de los eventos, pero sin llegar a intervenir o manipular los elementos. Permitirá el registro de manera sistemática y confiable de todos los datos necesarios para la evaluación de los eventos.

3.3.2 Instrumento

Según Carrasco (2019) el instrumento es el medio para realizar la medición de los atributos de las variables, por tanto, para la presente investigación se optará por la ficha de recolección de datos, revisada y corregida por profesionales con experiencia en el campo de investigación, y según los objetivos de la investigación.

3.3.3 Validación y confiabilidad

Fernández et al (2019) manifiestan que la validez es el grado en el cual un instrumento mide lo que debe medir. Se hará uso de la validación por juicio de expertos, método de validación útil que permitirá la verificación de la fiabilidad de una investigación a través de la opinión de personas con trayectoria en el tema.

3.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS O ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se recurrirá al uso de la estadística descriptiva e inferencial; mediante la estadística descriptiva se representarán tablas y gráficos de frecuencia de las

principales características de cada una de las variables en cuestión; a través de la estadística inferencial se determinará el tipo de distribución de los datos y la comprobación de las hipótesis, gracias a estadísticos como las pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov y pruebas de estadísticas de comprobación de hipótesis.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

4.1.1 Parámetros físicos

Tabla 1

pH del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo

		pH (Unidad pH)
2015	E3A	8,21
	E3	8,31
	PVIL	8,61
2016	E3A	8,09
	E3	8,14
	PVIL	8,46
2017	E3A	7,92
	E3	8,04
	PVIL	8,54
2018	E3A	8,31
	E3	8,36
	PVIL	8,46
2019	E3A	8,23
	E3	8,34
	PVIL	8,44
2020	E3A	8,29
	E3	8,39
	PVIL	8,48

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Tabla 2

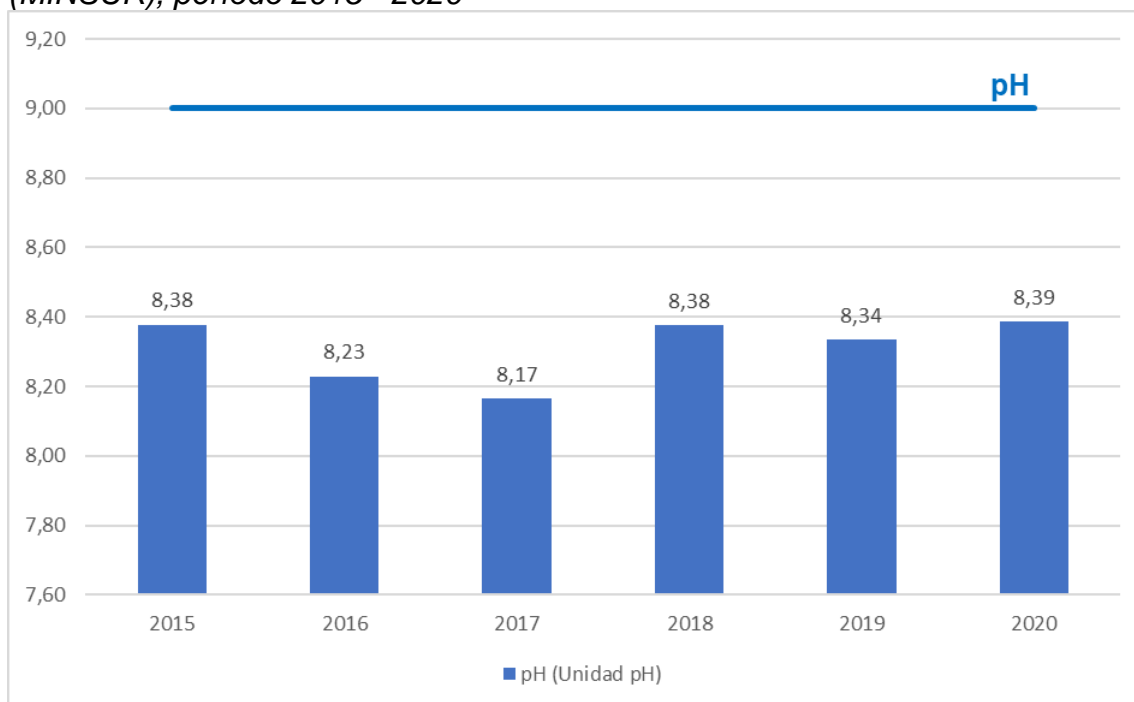
pH del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020

	pH (Unidad pH)
2015	8,38
2016	8,23
2017	8,17
2018	8,38
2019	8,34
2020	8,39

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Figura 1

pH del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020



Interpretación: El pH en el agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR) durante el período 2015-2020 se mantuvo en un rango ligeramente alcalino y estable. En 2015, el pH fue de 8,38, seguido de una ligera disminución en 2016 a 8,23. Durante los años siguientes, el pH se mantuvo prácticamente constante, con valores de 8,17 en 2017, 8,38 en 2018, 8,34 en 2019 y 8,39 en 2020. Estos datos indican que el agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca mantuvo un nivel de pH alcalino constante a lo largo de los años evaluados.

Tabla 3

Temperatura del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo

		Temperatura (°C)
2015	E3A	11,43
	E3	11,83
	PVIL	16,63
2016	E3A	10,03
	E3	9,20
	PVIL	13,60
2017	E3A	10,20
	E3	10,30
	PVIL	11,90
2018	E3A	11,40
	E3	11,80
	PVIL	16,80
2019	E3A	7,53
	E3	8,07
	PVIL	12,60
2020	E3A	15,60
	E3	13,00
	PVIL	13,20

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Tabla 4

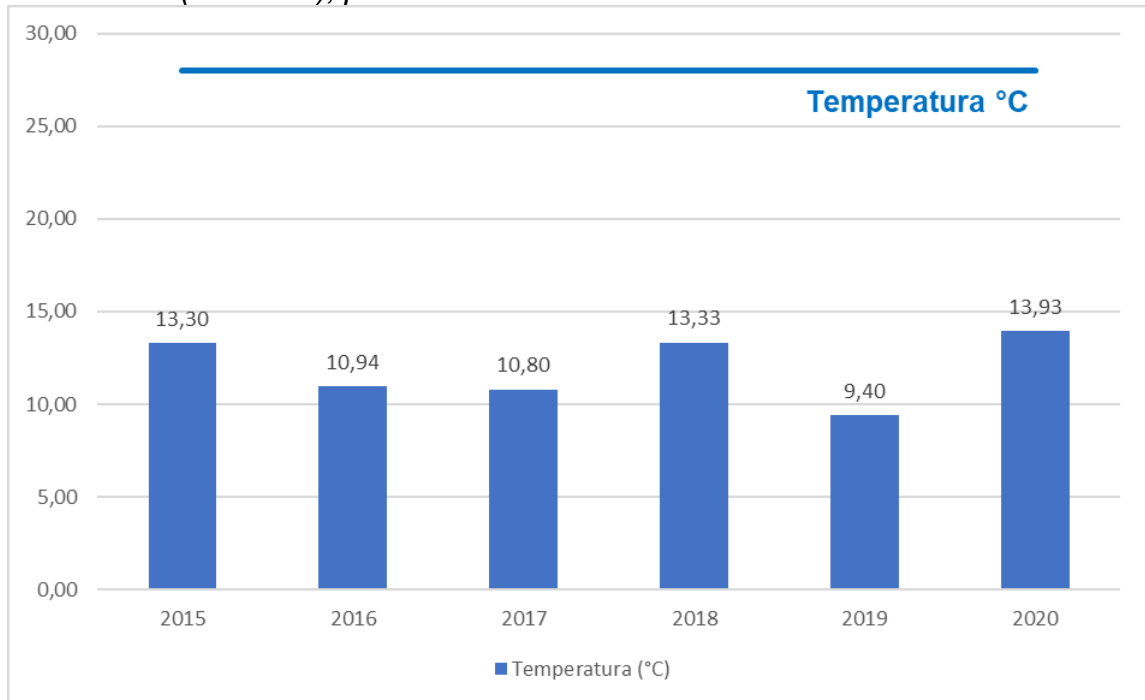
Temperatura del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020

	Temperatura (°C)
2015	13,30
2016	10,94
2017	10,80
2018	13,33
2019	9,40
2020	13,93

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Figura 2

Temperatura del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020



Interpretación: La temperatura del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR) durante el período 2015-2020 mostró variaciones anuales, pero en general se mantuvo dentro de un rango aceptable. En 2015, la temperatura registrada fue de 13,3 °C, seguida de una ligera disminución en 2016 a 10,94 °C. Durante los años siguientes, la temperatura se mantuvo relativamente constante, con valores de 10,8 °C en 2017, 13,33 °C en 2018, 9,4 °C en 2019 y 13,93 °C en 2020. Estos datos indican que la temperatura del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca experimentó variaciones estacionales, pero se mantuvo en un rango que no representa un riesgo significativo para el medio ambiente y los organismos acuáticos.

Tabla 5

Conductividad del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo

		Conductividad (uS/cm)
2015	E3A	438,00
	E3	436,33
	PVIL	454,67
2016	E3A	485,33
	E4	489,00
	PVIL	479,67
2017	E3A	436,50
	E5	442,50
	PVIL	403,00
2018	E3A	443,00
	E6	440,00
	PVIL	460,00
2019	E3A	522,00
	E7	516,67
	PVIL	551,67
2020	E3A	744,00
	E8	743,00
	PVIL	748,00

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Tabla 6

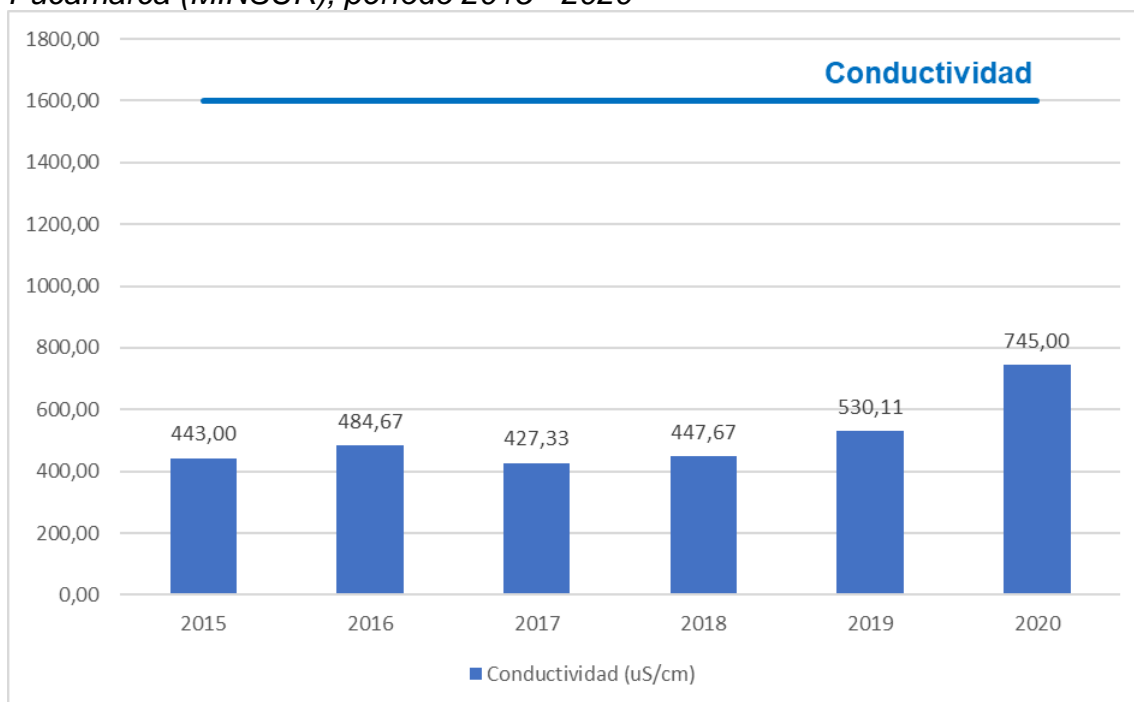
Conductividad del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020

	Conductividad (uS/cm)
2015	443,00
2016	484,67
2017	427,33
2018	447,67
2019	530,11
2020	745,00

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Figura 3

Conductividad del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020



Interpretación: La conductividad del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR) durante el período 2015-2020 mostró variaciones significativas a lo largo de los años. En 2015, se registró una conductividad de 443 uS/cm, seguida de un aumento en 2016 a 484,67 uS/cm. Sin embargo, en 2017, la conductividad disminuyó a 427,33 uS/cm. Durante los años siguientes, la conductividad mostró una tendencia general al alza, con valores de 447,67 uS/cm en 2018, 530,11 uS/cm en 2019 y 745 uS/cm en 2020, este último siendo el valor máximo registrado en el período. Estos datos indican que la conductividad del agua superficial en el área de influencia de Pucamarca experimentó cambios significativos, lo cual puede estar relacionado con diversos factores, como la geología local y la actividad minera.

Tabla 7

Turbidez del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo

		Turbidez (UNT)
2015	E3A	2,85
	E3	3,27
	PVIL	12,78
2016	E3A	22,83
	E4	25,62
	PVIL	327,37
2017	E3A	4,55
	E5	4,14
	PVIL	2,30
2018	E3A	3,43
	E6	2,28
	PVIL	13,30
2019	E3A	2,66
	E7	2,75
	PVIL	6,21
2020	E3A	2,87
	E8	3,67
	PVIL	13,20

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Tabla 8

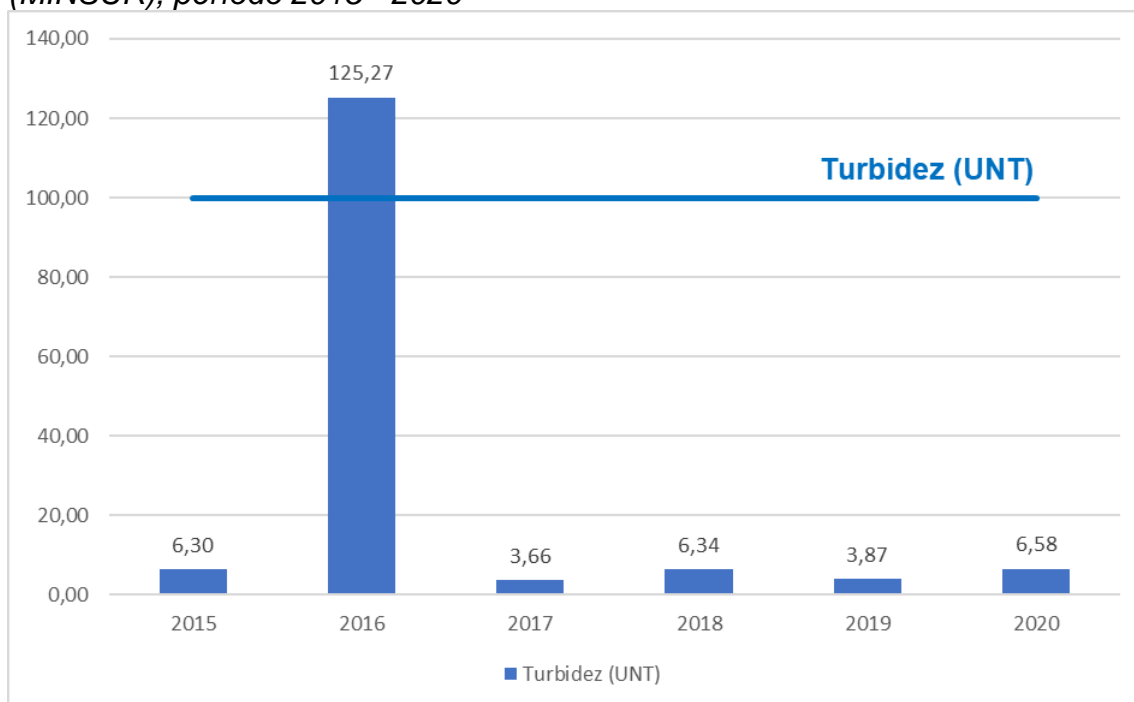
Turbidez del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020

	Turbidez (UNT)
2015	6,30
2016	125,27
2017	3,66
2018	6,34
2019	3,87
2020	6,58

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Figura 4

Turbidez del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020



Interpretación: La turbidez del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR) durante el período 2015-2020 mostró variaciones significativas en los niveles de claridad del agua. En 2015, se registró una turbidez de 6,3 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez), seguida de un aumento drástico en 2016 a 125,27 UNT, indicando una notable falta de claridad en el agua. Sin embargo, en 2017, la turbidez disminuyó considerablemente a 3,66 UNT, volviendo a niveles más bajos de claridad. Durante los años siguientes, la turbidez se mantuvo relativamente estable, con valores de 6,34 UNT en 2018, 3,87 UNT en 2019 y 6,58 UNT en 2020. Estos datos indican que la turbidez del agua superficial en el área de influencia de Pucamarca

experimentó variaciones significativas, lo cual puede estar relacionado con cambios en las condiciones hidrológicas y la actividad humana en la zona.

4.1.2 Parámetros químicos

Tabla 9

Oxígeno disuelto del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo

		Oxígeno disuelto (mg/L)
2015	E3A	7,33
	E3	7,51
	PVIL	6,66
2016	E3A	6,52
	E3	6,67
	PVIL	6,53
2017	E3A	7,35
	E3	6,89
	PVIL	6,50
2018	E3A	7,64
	E3	7,69
	PVIL	6,85
2019	E3A	7,71
	E3	7,85
	PVIL	7,35
2020	E3A	6,90
	E3	7,11
	PVIL	6,48

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Tabla 10

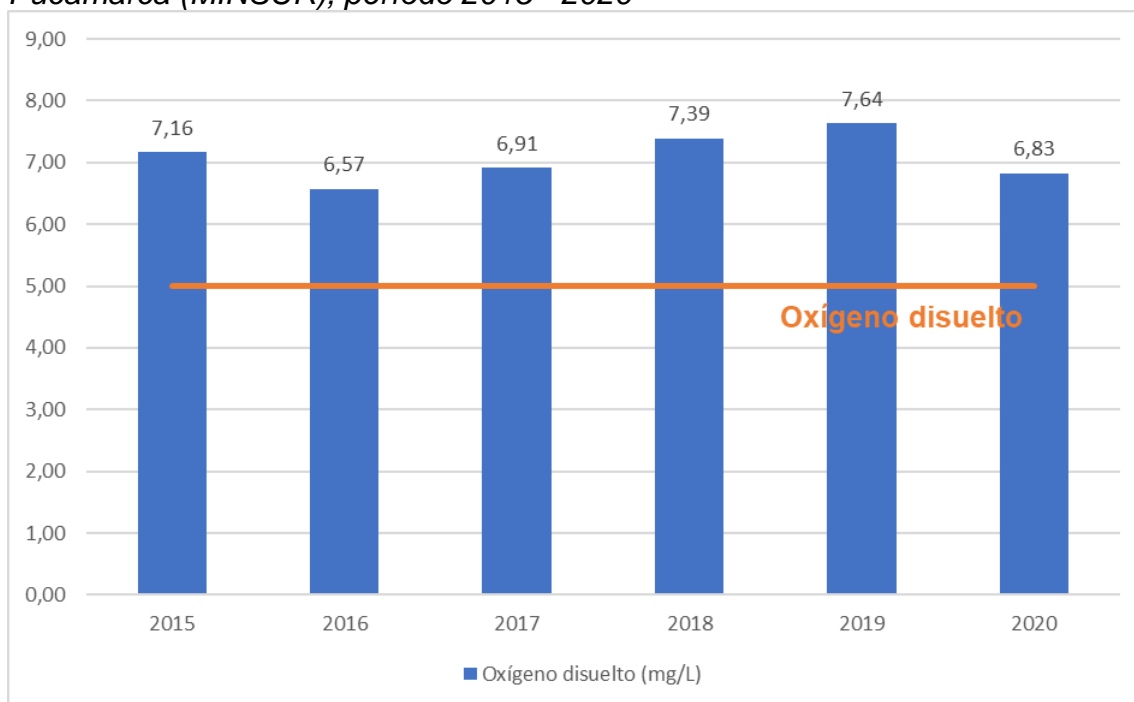
Oxígeno disuelto del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020

	Oxígeno disuelto (mg/L)
2015	7,16
2016	6,57
2017	6,91
2018	7,39
2019	7,64
2020	6,83

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Figura 5

Oxígeno disuelto del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020



Interpretación: El oxígeno disuelto en el agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR) durante el período 2015-2020 mostró una relativa estabilidad, aunque con algunas fluctuaciones. En 2015, se registró un nivel de oxígeno disuelto de 7,16 mg/L, seguido de una ligera disminución en 2016 a 6,57 mg/L. En 2017, el nivel de oxígeno disuelto aumentó ligeramente a 6,91 mg/L, seguido de otro aumento en 2018 a 7,39 mg/L. En 2019, se observó un ligero incremento adicional a 7,64 mg/L, indicando una buena concentración de oxígeno en el agua. Sin embargo, en 2020, se registró una ligera disminución a 6,83 mg/L. Estos datos sugieren que, en general, el agua superficial en el área de influencia de Pucamarca mantiene niveles

adecuados de oxígeno disuelto, lo cual es fundamental para el soporte de vida acuática.

Tabla 11

Sólidos totales disueltos del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo

Sólidos totales disueltos (mg/L)		
2015	E3A	296,00
	E3	294,33
	PVIL	300,00
2016	E3A	322,33
	E3	331,67
	PVIL	332,67
2017	E3A	309,00
	E3	324,00
	PVIL	286,00
2018	E3A	320,00
	E3	309,00
	PVIL	324,00
2019	E3A	344,00
	E3	391,33
	PVIL	365,00
2020	E3A	504,00
	E3	454,00
	PVIL	480,00

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Tabla 12

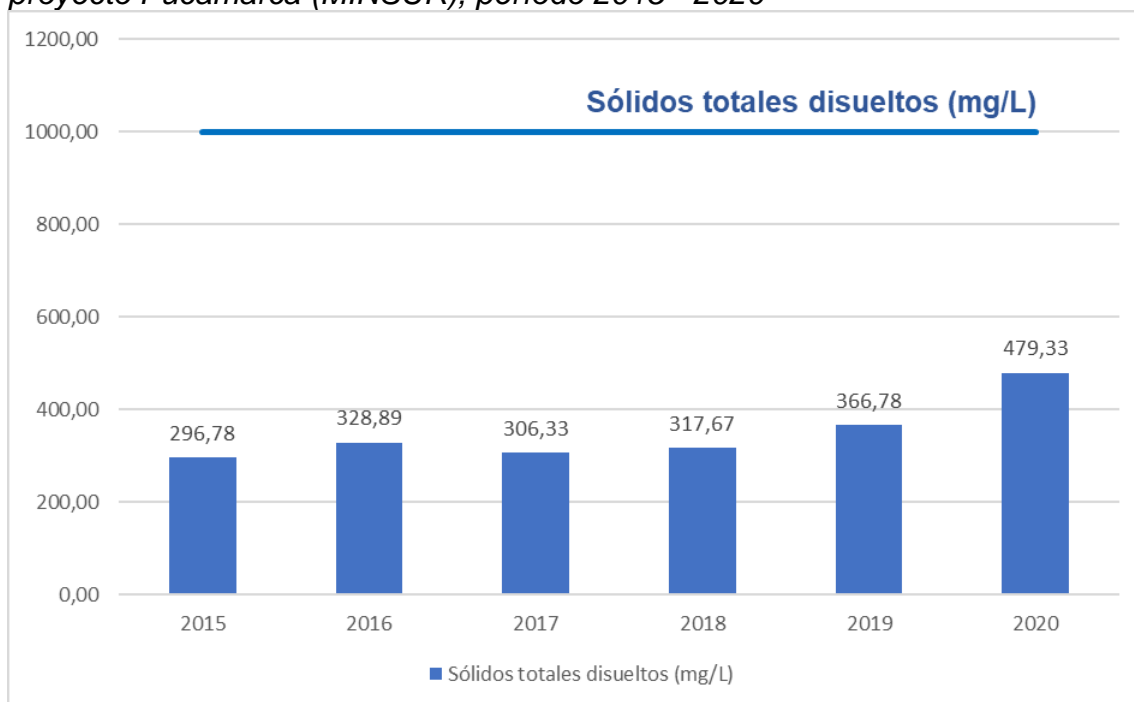
Sólidos totales disueltos del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020

Sólidos totales disueltos (mg/L)	
2015	296,78
2016	328,89
2017	306,33
2018	317,67
2019	366,78
2020	479,33

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Figura 6

Sólidos totales disueltos del agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020



Interpretación: Los sólidos totales disueltos en el agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR) durante el período 2015-2020 se mantuvieron en niveles relativamente estables y dentro de un rango aceptable. En 2015, se registró una concentración de sólidos totales disueltos de 7,16 mg/L, seguida de una ligera disminución en 2016 a 6,57 mg/L. En los años siguientes, se observaron fluctuaciones mínimas, con valores de 6,91 mg/L en 2017, 7,39 mg/L en 2018, 7,64 mg/L en 2019 y 6,83 mg/L en 2020. Estos datos indican que el agua superficial en el área de influencia de Pucamarca presenta una concentración constante y aceptable de sólidos totales disueltos.

Tabla 13

Metales pesados en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo

		Antimonio (Sb)	Arsénico (As)	Cadmio (Cd)	Cobalto (Co)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Plata (Ag)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)	Talio (Tl)	Uranio (U)	Vanadio (V)	Zinc (Zn)
2015	E3A	< 0,0001	0,0919	< 0,00003	< 0,00004	< 0,0003	< 0,0001	0,2240	< 0,00005	< 0,0002	< 0,00001	< 0,0001	< 0,00005	< 0,0001	< 0,00001	0,0049	< 0,003
	E3	< 0,0001	0,0941	< 0,00003	< 0,00004	< 0,0003	< 0,0001	0,2437	< 0,00005	< 0,0002	< 0,00001	< 0,0001	< 0,00005	< 0,0001	< 0,00001	0,0051	< 0,003
	PVIL	< 0,0001	0,1013	< 0,00003	< 0,00004	0,0023	< 0,0001	0,7667	< 0,00005	< 0,0002	< 0,00001	< 0,0001	< 0,00005	< 0,0001	< 0,00001	0,0063	0,0105
2016	E3A	0,0010	0,0874	< 0,00003	0,0001	0,0025	< 0,0001	0,9925	< 0,00003	0,0026	< 0,00003	< 0,0002	< 0,0004	< 0,00002	< 0,00001	0,0058	0,0086
	E3	0,0010	0,0905	< 0,00003	0,0001	0,0026	< 0,0001	1,0672	< 0,00003	0,0027	< 0,000003	< 0,0002	< 0,0004	< 0,00002	< 0,00003	0,0061	0,0088
	PVIL	0,0016	0,1763	< 0,00003	0,0118	0,0188	0,0060	10,4652	< 0,00003	0,0114	< 0,000003	< 0,0002	< 0,0004	< 0,00002	< 0,00001	0,0230	0,0525
2017	E3A	0,0005	0,0844	< 0,00003	0,0004	0,0009	0,0014	0,2620	< 0,0001	0,0035	< 0,00005	< 0,0002	< 0,0004	< 0,00002	0,0001	0,0057	0,0100
	E3	0,0005	0,0851	< 0,00003	0,0004	0,0018	0,0147	0,5140	< 0,0001	< 0,0003	< 0,00005	< 0,0002	< 0,0004	< 0,00002	0,0001	0,0077	< 0,01
	PVIL	0,0005	0,1068	< 0,00003	< 0,00002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,062	< 0,0001	< 0,0003	< 0,00005	< 0,0002	< 0,0004	< 0,00002	0,0002	0,0063	0,0300
2018	E3A	0,0006	0,0756	< 0,00001	< 0,00001	0,0011	0,0004	0,1610	< 0,00003	0,0009	< 0,000003	< 0,0002	< 0,0004	< 0,00002	< 0,000003	0,0041	0,1257
	E3	0,0006	0,0736	< 0,00001	< 0,00001	0,0007	< 0,0001	0,1617	< 0,00003	0,0007	< 0,000003	< 0,0002	< 0,0004	< 0,00002	< 0,000003	0,0039	< 0,0100
	PVIL	0,0008	0,0950	< 0,00001	0,0006	0,0031	0,0005	0,8724	< 0,00003	0,0014	< 0,000003	0,0005	< 0,0004	< 0,00002	< 0,000003	0,0056	< 0,0100
2019	E3A	0,0031	0,1065	< 0,00010	< 0,0002	0,0010	< 0,0007	0,2257	< 0,00005	0,0010	< 0,00008	0,0005	< 0,0006	< 0,0002	< 0,0002	0,0034	< 0,008
	E3	0,0031	0,1049	< 0,00010	< 0,0002	0,0012	< 0,0007	0,2274	< 0,00005	0,0007	< 0,00008	0,0005	< 0,0006	< 0,0002	< 0,0002	0,0035	< 0,008
	PVIL	0,0045	0,1309	< 0,00010	0,0005	0,0039	< 0,0007	0,7759	< 0,00005	0,0012	< 0,00008	0,0008	< 0,0006	< 0,0002	< 0,0002	0,0051	< 0,008
2020	E3A	0,0017	0,1299	< 0,00010	< 0,0002	< 0,0003	< 0,0007	0,0600	< 0,00005	0,0016	< 0,00008	< 0,0002	< 0,0006	0,0050	< 0,0002	0,0031	< 0,008
	E3	0,0015	0,1286	< 0,00010	< 0,0002	< 0,0003	< 0,0007	0,0600	< 0,00005	0,0015	< 0,00008	< 0,0002	< 0,0006	0,0047	< 0,0002	0,0029	< 0,008
	PVIL	0,0018	0,1463	< 0,00010	< 0,0002	0,0004	< 0,0007	0,0600	< 0,00005	0,0018	< 0,00008	0,0009	< 0,0006	0,0207	< 0,0002	0,0053	< 0,008

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Tabla 14

Metales pesados en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020

	Antimonio (Sb)	Arsénico (As)	Cadmio (Cd)	Cobalto (Co)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Hierro (Fe)	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Plata (Ag)	Plomo (Pb)	Selenio (Se)	Talio (Tl)	Uranio (U)	Vanadio (V)	Zinc (Zn)
2015	< 0,0001	0,0958	< 0,00003	< 0,00004	0,0023	< 0,0001	0,4114	< 0,00005	< 0,0002	< 0,00001	< 0,0001	< 0,00005	< 0,0001	< 0,00001	0,0054	< 0,003
2016	0,0012	0,1181	< 0,00003	0,0040	0,0079	0,0060	4,1750	< 0,00003	0,0056	< 0,00003	< 0,0002	< 0,0004	< 0,00002	< 0,00001	0,0116	0,0233
2017	0,0005	0,0921	< 0,00003	0,0004	0,0014	0,0081	0,3880	< 0,0001	0,0035	< 0,00005	< 0,0002	< 0,0004	< 0,00002	0,0002	0,0066	0,0200
2018	0,0006	0,0814	< 0,00001	0,0006	0,0016	0,0005	0,3984	< 0,00003	0,0010	< 0,00000	< 0,0002	< 0,0004	< 0,00002	< 0,000003	0,0045	< 0,0100
2019	0,0036	0,1141	< 0,00010	0,0005	0,0020	< 0,0007	0,4097	< 0,00005	0,0010	< 0,00008	0,0006	< 0,0006	< 0,0002	< 0,0002	0,0040	< 0,008
2020	0,0017	0,1349	< 0,00010	< 0,0002	0,0004	< 0,0007	0,0600	< 0,00005	0,0016	< 0,00008	< 0,0002	< 0,0006	0,0101	< 0,0002	0,0038	< 0,008

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Interpretación: Los niveles bajos de metales pesados en el agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR) durante el período 2015-2020 indican que las concentraciones de estos metales se mantuvieron por debajo de los límites establecidos en la normativa peruana. Los metales pesados como el antimonio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, cromo, hierro, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio, uranio, vanadio y zinc son conocidos por su toxicidad y su potencial impacto negativo en el medio ambiente y la salud humana. Sin embargo, los niveles bajos registrados en el agua superficial sugieren que el proyecto Pucamarca ha implementado medidas efectivas para controlar y minimizar la contaminación por metales pesados.

Tabla 15

Compuestos orgánicos en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo

		Benceno	Etilbenceno	m,p-Xileno	o-Xileno	Tolueno	Xilenos	Aceites y Grasas	Fenoles
2015	E3A	<0,008	<0,004	<0,010	<0,003	<0,004	<0,013	<1,0	<0,0005
	E3	<0,008	<0,004	<0,010	<0,003	<0,004	<0,013	<1,0	<0,0005
	PVIL	<0,008	<0,004	<0,010	<0,003	<0,004	<0,013	<1,0	<0,0005
2016	E3A	<0,005	<0,006	<0,008	<0,007	<0,005	<0,015	<1,0	<0,001
	E3	<0,005	<0,006	<0,008	<0,007	<0,005	<0,015	<1,0	<0,001
	PVIL	<0,005	<0,006	<0,008	<0,007	<0,005	<0,015	<1,0	<0,001
2017	E3A	<0,005	<0,005	<0,006	<0,008	<0,007	<0,015	1,4000	<0,001
	E3	<0,005	<0,005	<0,006	<0,008	<0,007	<0,015	<1,0	<0,001
	PVIL	<0,005	<0,005	<0,006	<0,008	<0,007	<0,015	<1,0	<0,001
2018	E3A	<0,005	<0,005	<0,006	<0,008	<0,007	<0,015	<1,0	<0,001
	E3	<0,005	<0,005	<0,006	<0,008	<0,007	<0,015	<1,0	<0,001
	PVIL	<0,005	<0,005	<0,006	<0,008	<0,007	<0,015	<1,0	<0,001
2019	E3A	<0,001	<0,00050	<0,003	<0,00085	<0,001	<0,004	<0,100	<0,001
	E3	<0,001	<0,00050	<0,003	<0,00085	<0,001	<0,004	<0,100	<0,001
	PVIL	<0,001	<0,00050	<0,003	<0,00085	<0,001	<0,004	<0,100	<0,001
2020	E3A	<0,001	<0,001	<0,003	<0,001	<0,001	<0,004	<0,100	<0,0008
	E3	<0,001	<0,001	<0,003	<0,001	<0,001	<0,004	<0,100	<0,0008
	PVIL	<0,001	<0,001	<0,003	<0,001	<0,001	<0,004	<0,100	<0,0008

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Tabla 16

Compuestos orgánicos en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020

	Benceno	Etilbenceno	m,p-Xileno	o-Xileno	Tolueno	Xilenos	Aceites y Grasas	Fenoles
2015	< 0,008	< 0,004	< 0,010	< 0,003	< 0,004	< 0,013	<1,0	<0,0005
2016	< 0,005	< 0,006	< 0,008	< 0,007	< 0,005	< 0,015	< 1,0	< 0,001
2017	< 0,005	< 0,005	< 0,006	< 0,008	< 0,007	< 0,015	< 1,0	< 0,001
2018	< 0,005	< 0,005	< 0,006	< 0,008	< 0,007	< 0,015	< 1,0	< 0,001
2019	< 0,001	< 0,00050	< 0,003	< 0,00085	< 0,001	< 0,004	< 0,100	< 0,001
2020	< 0,001	< 0,001	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,004	< 0,100	< 0,0008

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Interpretación: Los niveles bajos de compuestos orgánicos en el agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR) durante el período 2015-2020 indican que las concentraciones de estos compuestos se mantuvieron por debajo de los límites establecidos en la normativa peruana. Los compuestos orgánicos como el benceno, etilbenceno, mp-xileno, o-xileno, tolueno, xilenos, aceites y grasas, y fenoles son conocidos por su toxicidad y su potencial impacto negativo en el medio ambiente y la salud humana. Sin embargo, los niveles bajos registrados en el agua superficial sugieren que el proyecto Pucamarca ha implementado medidas efectivas para controlar y minimizar la contaminación por compuestos orgánicos.

Tabla 17

Nutrientes en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo

		Aluminio	Bario	Berilio	Bismuto	Boro (B)	Calcio	Fósforo	Litio (Li)	Magnesio	Manganeso	Molibdeno	Potasio	Silicio (Si)	Sodio (Na)	Estaño	Estroncio	Titanio
		(Al)	(Ba)	(Be)	(Bi)	(Ca)	(P)	(Li)	(Mg)	(Mn)	(Mo)	(K)	(Si)	(Na)	(Sn)	(Sr)	(Ti)	
2015	E3A	< 0,001	0,0101	< 0,00004	< 0,00001	0,3617	33,6600	0,0913	0,0477	13,4333	0,0360	0,0011	8,1277	24,4300	25,8733	< 0,0001	0,1785	< 0,001
	E3	0,13	0,0101	< 0,00004	< 0,00001	0,3720	33,3933	0,0927	0,0483	13,4467	0,0406	0,0011	8,1530	24,5700	25,9167	< 0,0001	0,1789	< 0,001
	PVIL	0,60	0,0180	< 0,00004	< 0,00001	0,4045	37,2067	0,0913	0,0493	14,4733	0,0640	0,0012	8,5857	25,9400	27,1967	< 0,0001	0,2055	0,0110
2016	E3A	0,0230	0,0192	< 0,00003	< 0,00002	0,4397	37,3867	0,1025	0,0517	14,7967	0,0522	0,0012	9,2867	25,5400	28,0033	< 0,00003	0,2119	0,0012
	E3	0,5598	0,0196	< 0,00003	< 0,00002	0,4397	38,5233	0,1090	0,0513	15,0900	0,0586	0,0012	9,4240	24,4567	28,5267	< 0,00003	0,2192	0,0012
	PVIL	5,8988	0,1295	< 0,00003	< 0,00002	0,4036	48,0600	0,4490	0,0544	18,6633	0,6293	0,0014	9,6770	30,9600	26,1967	< 0,00003	0,3299	0,0046
2017	E3A	0,2570	0,0143	< 0,00003	< 0,00002	0,3485	35,0100	< 0,015	0,0519	13,4800	0,0563	0,0010	8,1500	24,5000	25,4200	< 0,0003	0,1912	0,0181
	E3	< 0,002	0,0157	< 0,00003	< 0,00002	0,3860	32,6000	< 0,015	0,0546	13,9200	0,0561	0,0010	7,8050	25,0000	26,1850	< 0,0003	0,1904	< 0,0002
	PVIL	0,1060	0,0129	< 0,00003	< 0,00002	0,3370	30,4900	< 0,015	0,0507	10,7700	0,0136	0,0009	6,8300	24,9000	23,4000	< 0,0003	0,1877	0,0046
2018	E3A	0,0770	0,0118	< 0,00002	< 0,00002	0,3480	36,0200	0,0660	0,0486	14,2300	0,0234	0,0008	8,6900	24,7000	26,9100	< 0,00003	0,1800	0,0048
	E3	0,0820	0,0112	< 0,00002	< 0,00002	0,3420	34,6000	0,0580	0,0469	13,2500	0,0232	0,0008	8,3400	23,8000	26,1500	< 0,00003	0,1757	0,0044
	PVIL	0,8980	0,0176	< 0,00002	< 0,00002	0,3690	37,9600	0,0840	0,0478	14,0200	0,0456	0,0009	8,7700	25,0000	27,4100	< 0,00003	0,2053	0,0247
2019	E3A	0,0367	0,0090	< 0,0002	< 0,0002	0,5740	38,8300	0,0627	0,0599	16,3033	0,0331	0,0012	10,0333	25,1000	31,1267	< 0,0002	0,2234	0,0029
	E3	0,0417	0,0087	< 0,0002	< 0,0002	0,5317	37,5400	0,0657	0,0613	15,9167	0,0343	0,0012	9,6233	25,1333	30,3500	< 0,0002	0,2192	0,0029
	PVIL	0,4380	0,0158	< 0,0002	< 0,0002	0,5270	41,7000	0,0833	0,0619	16,6233	0,0565	0,0013	10,0333	24,9333	31,0533	0,0004	0,2512	0,0126
2020	E3A	0,0150	0,0116	< 0,0002	< 0,0002	0,7370	62,0600	0,1000	0,0957	27,4700	0,1357	0,0014	13,4900	25,3000	51,2100	< 0,0002	0,3285	0,0050
	E3	0,0160	0,0115	< 0,0002	< 0,0002	0,7250	60,9700	0,0900	0,0965	26,2100	0,1232	0,0012	14,8500	26,3000	49,6900	< 0,0002	0,3120	0,0047
	PVIL	0,0190	0,0142	< 0,0002	< 0,0002	0,6790	64,5100	0,1300	0,0934	27,0100	0,1026	0,0014	15,2200	23,9000	50,2900	< 0,0002	0,3459	0,0207

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Tabla 18

Nutrientes en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020

		Aluminio	Bario	Berilio	Bismuto	Boro (B)	Calcio	Fósforo	Litio	Magnesio	Manganeso	Molibdeno	Potasio	Silicio	Sodio (Na)	Estaño	Estroncio	Titanio (Ti)
		(Al)	(Ba)	(Be)	(Bi)	(Ca)	(P)	(Li)	(Mg)	(Mn)	(Mo)	(K)	(Si)	(Na)	(Sn)	(Sr)	(Ti)	
2015		0,3633	0,0127	< 0,00004	< 0,00001	0,3794	34,7533	0,0918	0,0484	13,7844	0,0469	0,0011	8,2888	24,9800	26,3289	< 0,0001	0,1877	0,0110
2016		2,1606	0,0561	< 0,00003	< 0,00002	0,4277	41,3233	0,2202	0,0525	16,1833	0,2467	0,0013	9,4626	26,9856	27,5756	< 0,00003	0,2536	0,0023
2017		0,1815	0,0143	< 0,00003	< 0,00002	0,3572	32,7000	< 0,015	0,0524	12,7233	0,0420	0,0010	7,5950	24,8000	25,0017	< 0,0003	0,1897	0,0114
2018		0,3523	0,0135	< 0,00002	< 0,00002	0,3530	36,1933	0,0693	0,0478	13,8333	0,0307	0,0008	8,6000	24,5000	26,8233	< 0,00003	0,1870	0,0113
2019		0,1721	0,0112	< 0,0002	< 0,0002	0,5442	39,3567	0,0706	0,0610	16,2811	0,0413	0,0013	9,8967	25,0556	30,8433	< 0,0002	0,2313	0,0061
2020		0,0167	0,0124	< 0,0002	< 0,0002	0,7137	62,5133	0,1067	0,0952	26,8967	0,1205	0,0013	14,5200	25,1667	50,3967	< 0,0002	0,3288	0,0101

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Interpretación: Los niveles de nutrientes en el agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR) durante el período 2015-2020 cumplen con lo establecido en la normativa peruana. Los nutrientes como el aluminio, bario, berilio, bismuto, boro, calcio, fósforo, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, potasio, silicio, sodio, estaño, estroncio y titanio desempeñan un papel importante en los procesos biológicos y químicos del agua. Los niveles que cumplen con los estándares establecidos en la normativa indican que el agua en el área de influencia no presenta una concentración excesiva de estos nutrientes, lo cual es fundamental para mantener un equilibrio y una calidad adecuada del agua. El cumplimiento de los límites establecidos en la normativa muestra el compromiso del proyecto Pucamarca en el monitoreo y control de los nutrientes para preservar el medio ambiente acuático y la salud de las comunidades cercanas al proyecto.

4.1.3 Parámetros microbiológicos

Tabla 19

Coliformes en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020, en estaciones de monitoreo

		Coliformes Fecales (NMP/100mL)	Coliformes Totales (NMP/100mL)
2015	E3A	2074,67	7040,67
	E3	48,77	297,67
	PVIL	19,07	400,00
2016	E3A	6,50	1914,67
	E3	5,67	3510,33
	PVIL	47,87	1983,33
2017	E3A	130,00	330,00
	E3	15,40	4810,00
	PVIL	4,50	700,00
2018	E3A	6,80	1600,00
	E3	6,80	220,00
	PVIL	2,00	1600,00
2019	E3A	3,25	441,33
	E3	1,80	144,33
	PVIL	3,25	140,00
2020	E3A	130,00	330,00
	E3	7,80	700,00
	PVIL	33,00	330,00

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Tabla 20

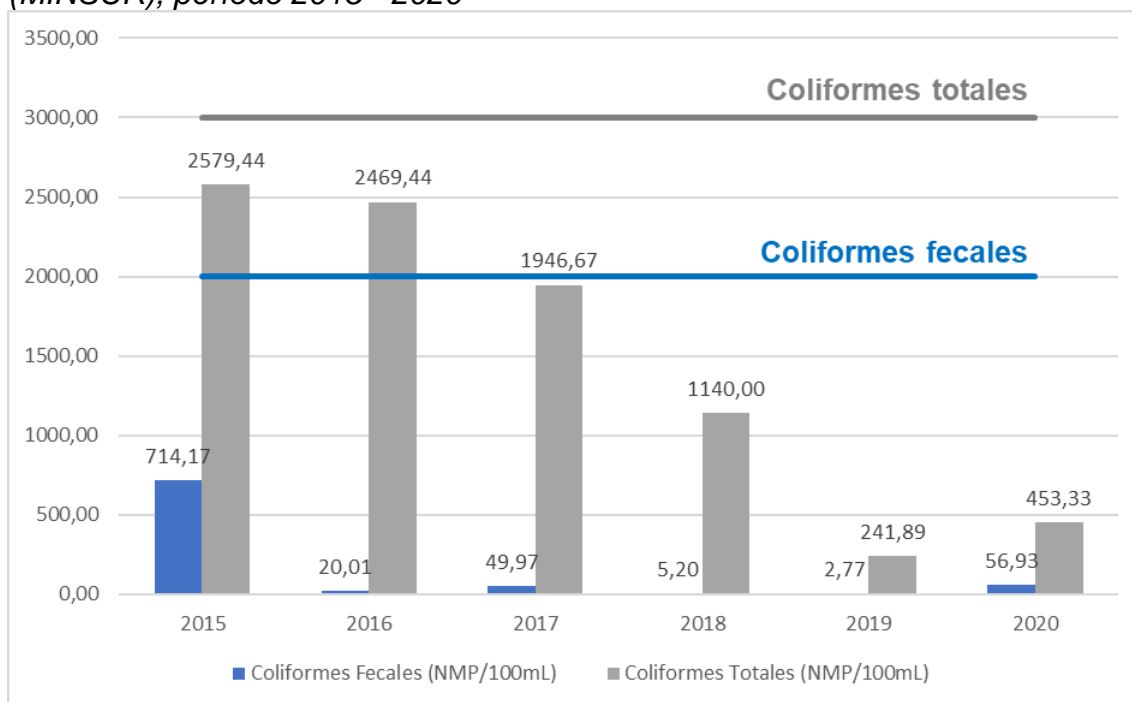
Coliformes en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020

	Coliformes Fecales (NMP/100mL)	Coliformes Totales (NMP/100mL)
2015	714,17	2579,44
2016	20,01	2469,44
2017	49,97	1946,67
2018	5,20	1140,00
2019	2,77	241,89
2020	56,93	453,33

Fuente: Informe de Monitoreo Ambiental Participativo

Figura 7

Coliformes en agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 - 2020



Interpretación: Los niveles de coliformes fecales y coliformes totales en el agua superficial en el área de influencia del proyecto Pucamarca (MINSUR) durante el período 2015-2020 muestran una variabilidad significativa. En 2015, se registraron niveles altos de coliformes fecales, con un valor de 714,17 NMP/100mL, así como altos niveles de coliformes totales, con un valor de 2579,44 NMP/100mL. Sin embargo, en los años siguientes, se observó una notable disminución en ambos parámetros. En 2016, los coliformes fecales disminuyeron drásticamente a 20,01 NMP/100mL, mientras que los coliformes totales se mantuvieron relativamente altos en 2469,44 NMP/100mL. En 2017, ambos parámetros continuaron disminuyendo, con niveles de 49,97 NMP/100mL para los coliformes fecales y 1946,67 NMP/100mL para los coliformes totales.

En los años siguientes, los niveles se mantuvieron relativamente bajos, con valores de 5,2 NMP/100mL para los coliformes fecales y 1140 NMP/100mL para los coliformes totales en 2018, y valores aún más bajos en 2019 y 2020. Estos datos indican una mejora progresiva en la calidad del agua en términos de contaminación fecal a lo largo del período evaluado.

4.2 ANÁLISIS INFERENCIAL

4.2.1 Hipótesis específica 1

A) Formulación de hipótesis

H1: El estudio físico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

H0: El estudio físico no permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

B) Nivel de significancia

Nivel de significancia de 0,05.

C) Resultados estadísticos

Tabla 21
Estadísticos de la hipótesis específica 1

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
PH	Entre grupos	0,37	5	0,074	1,430	0,240
	Dentro de grupos	1,66	32	0,052		
	Total	2,03	37			
Temperatura	Entre grupos	103,7	5	20,740	1,890	0,124
	Dentro de grupos	351,22	32	10,976		
	Total	454,92	37			
Conductividad	Entre grupos	250269,46	5	50053,892	13,277	0,000
	Dentro de grupos	120638,36	32	3769,949		
	Total	370907,82	37			
Turbidez	Entre grupos	99120,16	5	19824,032	0,783	0,570
	Dentro de grupos	810268,82	32	25320,901		
	Total	909388,98	37			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22
Estadístico de comprobación de la hipótesis específica 1

		Categoría	N	Prop. observada	Prop. de prueba	Significación exacta (bilateral)
Cumplimiento	Grupo 1	Cumple	71	0,99	0,50	0,000
	Grupo 2	No cumple	1	0,01		
	Total		72	1,00		

Fuente: Elaboración Propia

D) Regla de decisión

Si, p -valor $< 0,05$ se acepta la hipótesis del investigador.

Si, p -valor $> 0,05$ se acepta la hipótesis de negación.

E) Decisión

A partir de los resultados estadísticos pertenecientes a los indicadores del Estudio Físico indicados en la Tabla N° 22 se determina que tanto el pH($p=0,240$), temperatura($p=0,124$) y turbidez($p=0,570$) mantuvieron una media, inferior a lo establecido en la normatividad peruana, similar durante todos los años de evaluación, por tanto, no presentan diferencias significativas, a excepción de la conductividad($p=0,000$).

En la Tabla N° 23 se observa que, basados en el cumplimiento de los valores máximos permisibles por la normativa peruana en calidad de agua, la significancia asintótica es de 0,000 inferior a 0,05, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador, permitiendo inferir que estudio físico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

4.2.2 Hipótesis específica 2

A) Formulación de hipótesis

H1: El estudio químico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

H0: El estudio químico no permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

B) Nivel de significancia

Nivel de significancia de 0,05.

C) Resultados estadísticos

Tabla 23

Estadísticos de la hipótesis específica 2 (1)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Oxígeno disuelto	5,645	5	1,129	3,886	0,007
Sólidos totales disueltos	88443,177	5	17688,635	7,568	0,000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24*Estadísticos de la hipótesis específica 2 (2)*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Antimonio (Sb)	0,000	5	0,000	2,161	0,083
Arsénico (As)	0,009	5	0,002	0,873	0,510
Cadmio (Cd)	0,000	5	0,000	9,551	0,000
Cobalto (Co)	0,000	5	0,000	0,576	0,718
Cobre (Cu)	0,000	5	0,000	0,713	0,618
Cromo (Cr)	0,000	5	0,000	1,034	0,415
Hierro (Fe)	90,672	5	18,134	0,704	0,625
Mercurio (Hg)	0,000	5	0,000	10,215	0,000
Níquel (Ni)	0,000	5	0,000	1,414	0,246
Plata (Ag)	0,000	5	0,000	8,447	0,000
Plomo (Pb)	0,000	5	0,000	0,685	0,638
Selenio (Se)	0,000	5	0,000	2,177	0,081
Talio (Tl)	0,000	5	0,000	10,672	0,000
Uranio (U)	0,000	5	0,000	4,357	0,004
Vanadio (V)	0,000	5	0,000	0,896	0,495
Zinc (Zn)	0,005	5	0,001	1,957	0,112

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25*Estadísticos de la hipótesis específica 2 (3)*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Benceno	0,000	5	0,000	9,719	0,000
Etilbenceno	0,000	5	0,000	38,042	0,000
m,p- Xileno	0,000	5	0,000	14,803	0,000
o- Xileno	0,000	5	0,000	42,141	0,000
Tolueno	0,000	5	0,000	55,537	0,000
Xilenos	0,001	5	0,000	40,077	0,000
Aceites y Grasas	4,010	5	0,802	11,005	0,000
Fenoles	0,000	5	0,000	14,679	0,000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 26*Estadísticos de la hipótesis específica 2 (4)*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aluminio (Al)	31,608	5	6,322	0,765	0,582
Bario (Ba)	0,013	5	0,003	0,790	0,565
Berilio (Be)	0,000	5	0,000	12,992	0,000
Bismuto (Bi)	0,000	5	0,000	16,973	0,000
Boro (B)	0,405	5	0,081	5,727	0,001
Calcio (Ca)	2056,645	5	411,329	5,315	0,001
Fósforo (P)	0,143	5	0,029	0,795	0,561
Litio (Li)	0,006	5	0,001	10,929	0,000
Magnesio (Mg)	456,711	5	91,342	6,458	0,000
Manganeso (Mn)	0,293	5	0,059	0,665	0,653
Molibdeno (Mo)	0,000	5	0,000	4,285	0,004
Potasio (K)	107,575	5	21,515	10,599	0,000
Silicio (Si)	29,776	5	5,955	0,548	0,738
Sodio (Na)	1558,860	5	311,772	13,854	0,000
Estaño (Sn)	0,000	5	0,000	5,133	0,001
Estroncio (Sr)	0,063	5	0,013	2,831	0,032
Titanio (Ti)	0,045	5	0,009	1,056	0,403

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 27*Estadístico de comprobación de la hipótesis específica 2*

	Categoría	N	Prop. observada	Prop. de prueba	Significación exacta (bilateral)	
Cumplimiento	Grupo 1	Cumple	538	0,93	0,50	0,000
	Grupo 2	No cumple	38	0,07		
	Total		576	1,00		

Fuente: Elaboración Propia

D) Regla de decisiónSi, $p\text{-valor} < 0,05$ se acepta la hipótesis del investigador.Si, $p\text{-valor} > 0,05$ se acepta la hipótesis de negación.

E) Decisión

A partir de los resultados estadísticos pertenecientes a los indicadores del Estudio químico indicados en las Tablas N° 24, N° 25, N°26 y N° 27 se determina que la mayor parte de los indicadores presentaron variaciones significativas durante el período de evaluación.

La Tabla N° 24 nos señala que los indicadores Oxígeno disuelto ($p=0,007$) y sólidos totales disueltos ($p=0,000$) presentaron diferencias significativas. La Tabla N° 25 indica que, de los metales pesados evaluados, aquellos que presentaron diferencias significativas fueron el Cadmio ($p=0,000$), Mercurio ($p=0,000$), Plata ($p=0,000$), Talio ($p=0,000$) y el Uranio ($p=0,004$). Respecto a los compuestos orgánicos, la Tabla N° 26 indica que todos presentaron diferencias significativas durante el período de evaluación, siendo estos el Benceno ($p=0,000$), Etilbenceno ($p=0,000$), m,p- Xileno ($p=0,000$), o- Xileno ($p=0,000$), Tolueno ($p=0,000$), Xilenos ($p=0,000$), Aceites y Grasas ($p=0,000$) y Fenoles ($p=0,000$). Finalmente, respecto a los nutrientes, la Tabla N° 27 señala que Berilio ($p=0,000$), Bismuto ($0,000$), Boro ($p=0,001$), Calcio ($p=0,001$), Litio ($p=0,000$), Magnesio ($p=0,000$), Molibdeno ($p=0,004$), Potasio ($p=0,000$), Sodio ($p=0,000$), Estaño ($p=0,001$) y Estroncio ($p=0,032$) son los elementos que presentaron diferencias significativas en los períodos de evaluación.

En la Tabla N° 28 se observa que, basados en el cumplimiento de los valores máximos permisibles por la normativa peruana en calidad de agua, la significancia asintótica es de 0,000 inferior a 0,05, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador, permitiendo inferir que

estudio químico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

4.2.3 Hipótesis específica 3

A) Formulación de hipótesis

H1: El estudio microbiológico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

H0: El estudio microbiológico no permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

B) Nivel de significancia

Nivel de significancia de 0,05.

C) Resultados estadísticos

Tabla 28

Estadísticos de la hipótesis específica 3

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Coliformes Fecales	Entre grupos	3327640,13	5	665528,03	0,651	0,662
	Dentro de	32690001,61	32	1021562,55		
	grupos Total	36017641,73	37			
Coliformes Totales	Entre grupos	1478593786,55	5	295718757,31	0,541	0,743
	Dentro de	17479839792,00	32	546244993,50		
	grupos Total	18958433578,55	37			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29

Estadístico de comprobación de la hipótesis específica 3

		Categoría	N	Prop. observada	Prop. de prueba	Significación exacta (bilateral)
Cumplimiento	Grupo 1	Cumple	32	0,89	0,50	0,000
	Grupo 2	No cumple	4	0,11		
	Total		36	1,00		

Fuente: Elaboración Propia

D) Regla de decisión

Si, $p\text{-valor} < 0,05$ se acepta la hipótesis del investigador.

Si, $p\text{-valor} > 0,05$ se acepta la hipótesis de negación.

E) Decisión

A partir de los resultados estadísticos pertenecientes a los indicadores del Estudio Microbiológico indicados en la Tabla N° 29 se determina que tanto los coliformes fecales ($p=0,662$) y coliformes totales ($p=0,743$) mantuvieron una media, inferior a lo establecido en la normatividad peruana, similar durante todos los años de evaluación, por tanto, no presentan diferencias significativas.

En la Tabla N° 30 se observa que, basados en el cumplimiento de los valores máximos permisibles por la normativa peruana en calidad de agua, la significancia asintótica es de 0,000 inferior a 0,05, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador, permitiendo inferir que estudio microbiológico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

4.2.4 Hipótesis general

A) Formulación de hipótesis

H1: El estudio fisicoquímico y microbiológico influye en la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

H0: El estudio fisicoquímico y microbiológico no influye en la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

B) Nivel de significancia

Nivel de significancia de 0,05.

C) Resultados estadísticos

Tabla 30

Cumplimiento de rangos máximos permisibles según normativa peruana en los tres puntos de evaluación

Período			Normativa		Total
			No cumple	Cumple	
2015	n		6	108	114
	%		5,26 %	94,74 %	100,00 %
2016	n		11	103	114
	%		9,65 %	90,35 %	100,00 %
2017	n		6	108	114
	%		5,26 %	94,74 %	100,00 %
2018	n		4	110	114
	%		3,51 %	96,49 %	100,00 %
2019	n		7	107	114
	%		6,14 %	93,86 %	100,00 %
2020	n		9	105	114
	%		7,89 %	92,11 %	100,00 %
Total	n		43	641	684
	%		6,29 %	93,71 %	100,00 %

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31

Estadístico de comprobación de hipótesis

		Categoría	N	Prop. observada	Prop. de prueba	Significación exacta (bilateral)
Cumplimiento	Grupo 1	Cumple	641	0,94	0,50	0,000
	Grupo 2	No cumple	43	0,06		
	Total		684	1,00		

Fuente: Elaboración Propia

D) Regla de decisión

Si, $p\text{-valor} < 0,05$ se acepta la hipótesis del investigador.

Si, $p\text{-valor} > 0,05$ se acepta la hipótesis de negación.

E) Decisión

En la Tabla N°28 se observa que, de la totalidad de elementos evaluados en la normativa, para los cuales se establece rangos máximos permisibles de presencia en agua, según categoría, en la mayoría de los períodos se cumplen en más del 91,00 % de los casos, siendo el año 2018 el que cuenta con el valor más alto de cumplimiento con 96,19 % a diferencia del período 2016 con un cumplimiento del 89,52 %.

En la Tabla N° 29 se observa que, basados en el cumplimiento de los valores máximos permisibles por la normativa peruana en calidad de agua, la significancia asintótica es de 0,000 inferior a 0,05, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador, permitiendo inferir que el estudio fisicoquímico y microbiológico influye en la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

DISCUSIÓN

Los resultados de la presente investigación demostraron, a través de la recopilación de datos provenientes del análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos de calidad de agua realizados en tres puntos de control en el área de influencia del proyecto Pucamarca, que en la totalidad de períodos de evaluación, entre los años 2015 al 2020, los parámetros se hallaron por debajo de los máximo permisibles establecidos por las entidades reguladoras, siendo el menor de ellos el año 2016 con el 90,35 % de cumplimiento y el mayor el año 2018 con el 96,49 % de cumplimiento de las normas, empero manteniendo siempre un cumplimiento superior al 90,00 % en todos los casos.

Situación que se asemeja al obtenido por Carhuamarca (2020) quien logró establecer que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos no se encuentran fuera de la norma de regulación de la calidad de agua de drenajes efluentes de la estación 2210 CÍA Minera Casapalca S.A., resultados que se encuentran reforzados a nivel nacional por la existencia de regulaciones y normativas específicas relacionadas con la calidad del agua que se aplican a las empresas mineras, establecidas y supervisadas por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA), entre otros organismos competentes.

Los resultados de la investigación contradicen a lo obtenido por Monsalve (2018), quién a través de un análisis de la calidad de agua de mar y su relación con la infraestructura asociada a la actividad minera en la región de Antofagasta,

entre 1990 y 2015, estableció que existe diferencia en la calidad del agua de mar entre bahías con actividades económicas tradicionales y bahías con abundantes descargas de residuos líquidos provenientes de infraestructuras que nutren de materia prima a la minería energía y agua.

Además, se observa también diferencias respecto a los resultados de evaluaciones realizadas a fuentes de agua que no provienen directamente de proyectos mineros, tal es el caso de Cruz y Delgado (2022) quienes indicaron que el agua de consumo de la comunidad de Mollehuaca no es apta, al no cumplir la normativa del agua para consumo humano del MINSA, Orbegozo (2021) estableciendo que el agua del manantial no es apta para consumo humano de manera directa, requiriendo un tratamiento de desinfección previo, pues presentó parámetros microbiológicos superiores a lo establecido por el MINSA, más aún en casos en los cuales la población recurre a los afluentes de agua a realizar actividades de lavado, perjudicando la calidad del mismo, tal como señaló Mendoza (2018).

Por tanto, en vista de los resultados de la investigación y la confrontación con otras investigaciones de similares características aplicadas en proyectos mineros y en situaciones ajenas a la misma, se estableció que el estudio fisicoquímico y microbiológico influye en la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

Situación y preocupación que se comparte entre todas las investigaciones, pues el estudio fisicoquímico y microbiológico de la calidad del

agua en áreas de influencia de proyectos mineros es de vital importancia para garantizar la protección de la salud humana y la preservación del medio ambiente. Estas investigaciones permitieron identificar y evaluar la presencia de contaminantes químicos y microorganismos patógenos que pueden afectar tanto el agua utilizada por las comunidades locales como los ecosistemas acuáticos cercanos. La detección temprana de contaminantes y la evaluación de los riesgos asociados proporcionan una base sólida para tomar medidas preventivas y correctivas que minimicen los impactos adversos. Además, el estudio fisicoquímico y microbiológico contribuye al cumplimiento de las regulaciones ambientales establecidas, garantizando que las empresas mineras operen dentro de los límites establecidos y tomen medidas adecuadas de tratamiento y gestión de aguas residuales. Esto promueve la sostenibilidad de las operaciones mineras y ayuda a prevenir la contaminación del agua, preservando los recursos hídricos y protegiendo la biodiversidad acuática.

CONCLUSIONES

- 1.** El estudio fisicoquímico y microbiológico influye en la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.
- 2.** El estudio físico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.
- 3.** El estudio químico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.
- 4.** El estudio microbiológico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.

RECOMENDACIONES

1. Dado que el estudio fisicoquímico y microbiológico influye en la evaluación de la calidad del agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca, se recomienda que se realicen evaluaciones regulares y exhaustivas de la calidad del agua en la zona. Estas evaluaciones deben incluir mediciones fisicoquímicas y microbiológicas para obtener una imagen completa de la calidad del agua y poder identificar posibles problemas o riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Además, se deben establecer planes de monitoreo a largo plazo para evaluar los cambios en la calidad del agua a lo largo del tiempo y tomar medidas correctivas o preventivas según sea necesario.
2. Considerando que el estudio físico permite la evaluación de la calidad del agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca, se recomienda que se realicen mediciones regulares de los parámetros físicos del agua, como la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica y la turbidez. Estos datos proporcionarán información importante sobre el estado físico del agua y podrán ayudar a identificar posibles fuentes de contaminación o cambios en las características del agua a lo largo del tiempo. Además, se deben establecer límites y criterios de calidad física del agua basados en estándares nacionales e internacionales para evaluar y controlar la calidad del agua de manera efectiva.

3. Dado que el estudio químico permite la evaluación de la calidad del agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca, se recomienda llevar a cabo análisis químicos regulares del agua para identificar y cuantificar los contaminantes químicos presentes. Esto incluye la medición de metales pesados, compuestos orgánicos y otros contaminantes químicos relevantes. Estos análisis químicos ayudarán a determinar si los niveles de contaminantes cumplen con los estándares establecidos y si representan algún riesgo para la salud humana y el medio ambiente. En base a los resultados, se deben implementar medidas de mitigación y control de la contaminación para garantizar la calidad del agua y proteger los recursos hídricos de la zona.
4. Considerando que el estudio microbiológico permite la evaluación de la calidad del agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca, se recomienda realizar análisis microbiológicos periódicos del agua para detectar la presencia de microorganismos patógenos y evaluar el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua. Estos análisis deben incluir la detección de bacterias indicadoras de contaminación fecal, como *Escherichia coli*, y otros microorganismos relevantes. En caso de detectar contaminación microbiológica, se deben tomar medidas inmediatas para corregir el problema, como mejorar los sistemas de tratamiento de agua o implementar programas de saneamiento adecuados. Además, se deben establecer programas de educación y concientización para promover prácticas higiénicas y el uso seguro del agua entre la población local.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aquae ODS. (22 de Setiembre de 2021). *Principales causas y consecuencias de la contaminación en el agua*. Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/agua-y-contaminacion/>
- Arias, J. (2018). *Caracterización fisicoquímica y bacteriológica, del agua de consumo humano del centro poblado de Pampa Hermosa, distrito de Chontabamba, provincia de Oxapampa - 2018*. Tesis de grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco.
- Atencio, H. (2018). *Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local en la población de la localidad de San Antonio de Rancas, del distrito de Simón Bolívar, provincia y región Pasco - 2018*. Tesis de grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco.
- Aybar, G. (2019). *Evaluación del abastecimiento de agua potable para gestionar adecuadamente la demanda poblacional utilizando la metodología SIRAS 2010 en la ciudad de Chongoyape, Chiclayo, Lambayeque, Perú*. Tesis de grado, Universidad de San Martín de Porres, Lima.
- Bernal, C. (2016). *Metodología de la investigación*. Colombia: Pearson.
- Bernardo, C., Carbajal, Y., Contreras, V., Figueredo, C., Cuba, V., & Saavedra, J. (2018). *Metodología de la investigación*. Manual, Universidad San Martín de Porres, Lima.
- Calderón, N. (2019). *Índice de calidad de aguas costeras para Chile*. tesis de maestría, Universidad de Chile, Santiago.
- Cárdenas, J. (2022). *Calidad del agua para estudiantes de ciencias ambientales*. Bogotá: ECOE Ediciones.

- Carhuamaca, M. (2020). *Análisis fisicoquímico y microbiológico para la evaluación de la calidad del agua de mina de drenajes efluentes de la estación 2210 CÍA Minera Casapalca S.A.* Tesis de grado, Universidad Continental, Huancayo.
- Carrasco, S. (2019). *Metodología de la investigación científica* (Decimo novena ed.). Lima: San Marcos E I R.
- Cruz, G., & Delgado, E. (2022). *Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua de consumo de la Comunidad de Mollehuaca - distrito Huanuhaunu - provincia Caravelí - Arequipa, febrero - abril 2022.* Tesis de grado, Universidad María Auxiliadora, Lima.
- El Ágora. (22 de enero de 2021). *Los 10 países con mayores reservas de agua dulce del mundo.* Obtenido de <https://www.elagoradiario.com/agorapedia/10-paises-mayores-reservas-agua-dulce/>
- Fernández, R., Avello, R., Palmero, D., Sánchez, S., & Quintana, M. (2019). Validation of instruments as a guarantee of credibility in scientific research. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 48(2).
- Frías, T., & Montilla, L. (2016). *Evaluación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el sector puerto de productotes Río Itaya, Loreto - Perú 2014 - 2015.* Tesis de grado, Universidad Científica del Perú, San Juan.
- Gómez, M. (2020). *Metodología y técnica de la investigación.* México D.F.: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Heikkinen, A. (23 de 08 de 2022). *El impacto de la minería en las aguas altoandinas.* Obtenido de <https://ojo-publico.com/3278/el-impacto-de-la-mineria-en-las-aguas-altoandinas>
- Hernández, R. (2018). *Metodología de la Investigación.* México D.F.: McGraw Hill.

- Jiménez, C., Rodríguez, G., Acosta, R., & Garza, E. (2017). Análisis fisicoquímico y microbiológico de agua purificada en Reynosa, Tamaulipas. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 20(1), 41-46.
- Lozano, R. (2021). *Evaluación físico química y bacteriológica del recurso hídrico de la Laguna de Choclococha - Huancavelica*. Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.
- Marín, R. (2020). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: tratamiento y control de calidad de aguas*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Martínez, M. (2022). *Técnicas analíticas básicas: En el control de la calidad del agua según normatividad*. México D.F.: Editorial Universidad de Guadalajara.
- Martínez, P. (04 de Setiembre de 2021). *La contaminación del agua en la minería*. Obtenido de <http://www.obela.org/analisis/la-contaminacion-del-agua-en-la-mineria>
- Mendoza, N. (2018). *Evaluación fisicoquímica de la calidad del agua superficial en el Centro Poblado de Sacsamarca, región Ayacucho, Perú*. Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú, Ayacucho.
- Milo, A. (25 de Agosto de 2022). *Por qué la contaminación del agua es una crisis de talla global*. Obtenido de <https://www.ngenespanol.com/ecologia/por-que-la-contaminacion-del-agua-es-una-crisis-global/>
- Monsalve, R. (2018). *Análisis de la calidad de agua de mar y su relación con la infraestructura asociada a la actividad minera en la región de Antofagasta, entre los años 1990 - 2015*. Tesis de maestría, Universidad de Chile, Santiago.
- Orbegozo, O. (2021). *Verificación del cumplimiento de los parámetros del reglamento de la calidad del agua para el caserío Los Rosos, mediante el*

monitoreo físico - químico y microbiológico del manantial El Tutumo - Suyo, período junio a septiembre del 2019. Tesis de grado, Universidad Nacional de Piura, Piura.

Pradana, J., & Gallego, A. (2018). *Criterios de calidad y gestión del agua potable.* Madrid: UNED.

Rojas, L. (2018). *Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de agua de consumo humano del Centro Poblado de San Marcos, distrito de Chontabamba, provincia de Oxapampa - 2018.* Tesis de grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco.

Sampedro, F. (2021). *Evaluación de riesgos microbiológicos en alimentos: Guía para implementación en los países.* Pan American Health Organization.

Sierra, C. (2021). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico.* Medellín: Ediciones de la U.

Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2019). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.

Weber, W. (2021). *Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos.* Barcelona: Reverté.

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

TÍTULO: "ESTUDIO FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO PUCAMARCA (MINSUR), PERÍODO 2015 – 2020			
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES/ Dimensiones
<p>GENERAL: ¿El estudio fisicoquímico y microbiológico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020?</p> <p>ESPECÍFICOS: A) ¿El estudio físico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020? B) ¿El estudio químico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020? C) ¿El estudio microbiológico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020?</p>	<p>GENERAL: Determinar el estudio fisicoquímico y microbiológico para la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.</p> <p>ESPECÍFICOS: A) Realizar el estudio físico para la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020. B) Realizar el estudio químico para la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020. C) Realizar el estudio microbiológico para la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.</p>	<p>GENERAL: El estudio fisicoquímico y microbiológico influye en la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.</p> <p>ESPECÍFICOS: A) El estudio físico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020. B) El estudio químico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020. C) El estudio microbiológico permite la evaluación de la calidad de agua superficial en el área de influencia del Proyecto Pucamarca (MINSUR), período 2015 – 2020.</p>	<p>Variable 1: Análisis físico químico y microbiológico</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Análisis físico. – Análisis químico. – Análisis microbiológico. <p>Variable 2: Calidad de agua</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Calidad de agua superficial.
TIPO / NIVEL / DISEÑO	POBLACION Y MUESTRA	TECNICAS E INSTRUMENTOS	
<p>Enfoque: Cuantitativo Tipo: Básica. Nivel: Descriptivo – explicativo Diseño: No experimental – longitudinal</p>	<p>Población: Informes de monitoreo participativo Muestra: Informes de monitoreo participativo del período 2015 al 2020.</p>	<p>Técnicas: Observación</p>	<p>Instrumentos: Ficha de observación.</p>