

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Evaluación ambiental de seguimiento de agua superficial y
subterránea del ámbito de influencia de UP Sociedad Minera Cerro
Verde, en cumplimiento a los ECA para agua - Arequipa 2022**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Bach. Anderson Luis CUELLAR ASCANO

Bach. Katty Gelyn NASTARES HUAMÁN

Asesor:

Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Evaluación ambiental de seguimiento de agua superficial y
subterránea del ámbito de influencia de UP Sociedad Minera Cerro
Verde, en cumplimiento a los ECA para agua - Arequipa 2022**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Rommel Luis LOPEZ ALVARADO

PRESIDENTE

Dr. David Johnny CUYUBAMBA ZEVALLOS

MIEMBRO

Mg. Edgar Walter PEREZ JUZCAMAYTA

MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 276-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

“Evaluación ambiental de seguimiento de agua superficial y subterránea del ámbito de influencia de UP Sociedad Minera Cerro Verde, en cumplimiento a los ECA para agua - Arequipa 2022”

Apellidos y nombres de los tesisistas

Bach. Anderson Luis, CUELLAR ASCANOA

Bach. Katty Gelyn, NASTARES HUAMÁN

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Luis Alberto, PACHECO PEÑA

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Ambiental

Índice de Similitud

10 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 02 de junio de 2025



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DANIEL
ALCIDES
CARRIÓN
(HUANUCAMA)

Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
30154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 02.06.2025 11:43:13 -05:00

DEDICATORIA

A Dios por darnos mucha sabiduría, a nuestros padres por estar siempre a nuestro lado y confiar en este gran esfuerzo y siempre llevarnos por el buen camino de la verdad y respeto, y a todos nuestros allegados por darnos motivación y concluir este trabajo de Tesis.

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento es dedicado a toda nuestra familia, a la Universidad, al centro de investigación de la UNDAC, asesor y a nuestros colegas que fueron parte de este trabajo de Tesis, siempre brindándonos su apoyo incondicional, y así pueda alcanzar una meta en más en nuestra vida.

Los tesistas.

RESUMEN

Este estudio se realizó en el área de influencia de la Sociedad Minera Cerro Verde, ubicada en los distritos de Uchumayo, La Joya, Yarabamba y Tiabaya (Arequipa), con el objetivo de evaluar la calidad del agua superficial y subterránea frente a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). La investigación busca prevenir riesgos ambientales, proteger la salud pública y promover prácticas mineras responsables y sostenibles.

Los resultados mostraron que, en general, el agua del río Chili cumple con los ECA. Sin embargo, en puntos del río Yarabamba y su afluente Mollebaya, se detectaron excedencias de sulfatos, boro y conductividad, atribuibles principalmente a la geología volcánica de la zona. En aguas subterráneas, los niveles de sulfatos y boro se mantuvieron constantes, aunque algunos piezómetros, como el MAS-146, mostraron incrementos relacionados con filtraciones cercanas a depósitos de relaves.

Palabras claves: Evaluación ambiental de seguimiento de agua superficial y subterránea, cumplimiento a los ECA para agua, calidad de agua superficial y subterránea, UP Sociedad Minera Cerro Verde.

ABSTRACT

This study was conducted in the area influenced by the Cerro Verde Mining Company, located in the districts of Uchumayo, La Joya, Yarabamba, and Tiabaya (Arequipa), with the aim of assessing the quality of surface and groundwater in relation to the Environmental Quality Standards (ECA). The research seeks to prevent environmental risks, protect public health, and promote responsible and sustainable mining practices.

The results showed that, overall, the water from the Chili River complies with the ECA. However, at certain points in the Yarabamba River and its tributary, the Mollebaya River, exceedances of sulfates, boron, and conductivity were detected, mainly attributed to the volcanic geology of the area. In groundwater, sulfate and boron levels remained stable, although some piezometers, such as MAS-146, showed increases related to seepage near tailings deposits.

Keywords: Environmental monitoring of surface and groundwater, compliance with water ECA standards, surface and groundwater quality, Cerro Verde Mining Unit.

INTRODUCCIÓN

La gestión y el conservar recursos hídricos hoy en día se ha tornado en una preocupación central en el contexto de las actividades mineras, especialmente en regiones donde la minería impacta significativamente el entorno natural. En el caso de la Sociedad Minera Cerro Verde, cuya unidad de producción minera se localiza en Arequipa, Perú, se suscitó la necesidad de realizar un análisis de evaluar la calidad del agua superficial y subterránea dentro del área influenciada. La importancia de esta vigilancia se basa en que podría haber una alteración significativa en las características químicas de este recurso, como consecuencia de las operaciones mineras, que puede afectar ecosistemas acuáticos agua para uso/consumo humano y para actividades agrícolas.

El presente estudio está basado en evaluar ambientalmente aguas superficiales y subterráneas presentes en el área de influencia pertenecientes a la UP Cerro Verde, buscando demostrar que se está cumpliendo los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) agua establecidos por la normativa peruana. Así, el objetivo fue realizar una evaluación exhaustiva, con el propósito de identificar posibles fuentes emisoras de contaminantes y posterior a ello, evaluar si los parámetros evaluados cumplen con los criterios establecidos con los (ECA), para determinar si se protege el medio ambiente y la salud pública.

La metodología empleada incluye la recopilar los datos obtenidos del monitoreo que hizo la empresa en diferentes puntos localizados situados en los ríos Chili y Yarabamba, así como en varios piezómetros ubicados en áreas críticas como los depósitos de desmonte del tajo Cerro Negro y de relaves Enlozada. Los parámetros analizados abarcan concentraciones de sulfatos, boro, conductividad y otros metales, comparando los resultados obtenidos con los ECA para agua, en sus subcategorías

correspondientes a riego de vegetales y bebida de animales, según las normativas vigentes de 2015 y 2017.

Este estudio es crucial para identificar posibles impactos ambientales que derivan de operaciones mineras, buscando que se asegure se cumplan los estándares regulatorios. Además, proporciona una base sólida para que se logren implementar medidas correctivas y de gestión, promoviendo así una minería sostenible y respetuosa con el entorno natural y las comunidades locales.

Mediante la presentación y la evaluación de los resultados encontrados, esta investigación busca contribuir a la mejora continua de las prácticas ambientales en la minería y apoyar la toma de decisiones informadas en la gestión de recursos hídricos en la región de Arequipa.

Es así que, buscando cumplir el mandato dado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, presenté mi Tesis titulada **“Evaluación ambiental de seguimiento de agua superficial y subterránea del ámbito de influencia de UP Sociedad Minera Cerro Verde, en cumplimiento a los ECA para agua - Arequipa 2022.”**, con la finalidad de optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Lo que me conllevó a escoger esta investigación fue para cumplir legalmente y normativamente, ya que la presente investigación asegura el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por las autoridades peruanas para la protección del agua. Cumplir con estas normativas es esencial para evitar sanciones legales y para operar dentro de los marcos regulatorios establecidos. Así mismo busca la protección del Medio Ambiente a través de la preservación de Ecosistemas Acuáticos, ya que por medio de esta investigación se encaminará a identificar y mitigar posibles efectos negativos que ocurren sobre los cuerpos de agua aledaños, como ríos y acuíferos,

que probablemente tengan efectos dañinos como consecuencia de las actividades mineras. Por ello, cuidar y preservar la calidad del agua se torna esencial para proteger ecosistemas acuáticos y la biodiversidad. A todo ello se preocupa por la prevención de la Contaminación, porque permite detectar y abordar fuentes de contaminación antes de que estas afecten de manera significativa el medio ambiente, asegurando que las prácticas mineras no deterioren los recursos hídricos. Y por último a la Optimización de Procesos, porque esta investigación proporciona datos cruciales para mejorar las prácticas de manejo de desechos y lixiviación, ayudando a reducir la liberación de contaminantes y a optimizar el uso de recursos a favor de la empresa y del medio que los rodea.

Por tanto, la presente investigación está constituida por 4 capítulos: Capítulo I: Problema de Investigación, capítulo II: Marco teórico, capítulo III: Metodología y técnicas de investigación y capítulo IV: Presentación de resultados.

Los Tesistas.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

INDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Delimitación de la Investigación.....	3
1.3. Formulación del Problema	4
1.3.1. Problema general.....	4
1.3.2. Problemas Específicos	4
1.4. Formulación de Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Justificación de la Investigación	5
1.6. Limitaciones de la Investigación.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	8
2.2. Bases Teóricas - Científicas	15

2.2.1. La calidad del agua.....	15
2.2.2. Impactos de la actividad minera en el agua	17
2.2.3. Gestión ambiental en minería.....	17
2.2.4. Evaluación Ambiental del Agua	17
2.2.5. Impactos de la Minería en los Recursos Hídricos	17
2.2.6. Parámetros físicos, químicos y biológicos del agua.....	18
2.2.7. Normativas y Estándares Ambientales en la Industria Minera	19
2.2.8. Estándares de Calidad Ambiental (ECA).....	20
2.2.9. Marco Legal	20
2.3. Definición de Términos Conceptuales	22
2.4. Enfoque filosófico - epistémico	25

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	27
3.2. Nivel de investigación.....	27
3.3. Característica de la investigación.....	28
3.4. Métodos de investigación.....	28
3.5. Diseño de la investigación	29
3.6. Procedimiento del muestreo	29
3.6.1. Población.....	29
3.6.2. Muestra.....	29
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	32
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	33
3.9. Orientación ética	34

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados	36
4.1.1. Información general de la actividad realizada	37
4.1.2. Resultados del monitoreo y análisis	37
4.2. Discusión de Resultados	58
4.2.1. Agua Superficial.....	58
4.2.2. Agua Subterránea	60

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de los Resultados de pH de las estaciones de monitoreo en el Río Chili.	41
Figura 2. Análisis de los Resultados de Conductividad en los Puntos de Control del Río Chili.	41
Figura 3. Análisis de los Resultados de Sulfatos en las estaciones de monitoreo del río Chili.	42
Figura 4. Análisis de los niveles de sulfatos en el punto QECV-02 (río Chili) de las evaluaciones efectuadas por el OEFA en comparación con los informes del administrado (SMCV).....	42
Figura 5. Comparación de los niveles de sulfatos en el punto M-22 (río Chili) entre las evaluaciones del OEFA y los informes del administrador (SMCV).	43
Figura 6. Comparativa de la concentración de sulfatos en el lugar M-34 (río Chili) según las mediciones efectuadas por el OEFA y los informes del administrador (SMCV).	43
Figura 7. Valores de la conductividad que fueron parecidos en las mediciones realizadas en junio, agosto y octubre del año 2022.	47
Figura 8. Valores de sulfatos que resultaron parecidos en las evaluaciones de junio, agosto y octubre de 2022.	48
Figura 9. Niveles de boro total que mostraron similitudes en las mediciones realizadas en junio, agosto y octubre de 2022.	48
Figura 10. Comparación de los niveles de sulfatos en el punto MACN-31 entre las evaluaciones llevadas a cabo por el OEFA y los informes del administrado (SMCV). ..	49
Figura 11. Análisis de la cantidad total de Boro en el punto MACN-31 de las mediciones hechas por el OEFA en comparación con los informes del ente responsable (SMCV). ..	49

Figura 12. Análisis de los valores de Conductividad en el punto MA-41 de las evaluaciones efectuadas por el OEFA junto con los informes del administrado (SMCV).	50
Figura 13. Análisis de los niveles de concentración de Sulfatos en el punto MA-41, comparando las evaluaciones efectuadas por el OEFA con los informes del administrador (SMCV).	50
Figura 14. Comparación de los resultados de conductividad de las mediciones realizadas en junio, agosto y octubre de 2022 en los sitios de los piezómetros MACN-31 y MA-41.	51
Figura 15. Análisis de los resultados de Sulfatos de las evaluaciones realizadas en junio, agosto y octubre de 2022 en los sitios de los piezómetros MACN-31 y MA-41.....	51
Figura 16. Comparación de los hallazgos del Boro Total de los seguimientos realizados en junio, agosto y octubre de 2022 en las ubicaciones de los piezómetros MACN-31 y MA-41.	52
Figura 17. Comparación de la cantidad de Sulfatos en el punto MAS-146 entre las evaluaciones del OEFA y los informes del operador (SMCV).	54
Figura 18. Comparación de la cantidad total de Boro en el punto MAS-146 entre las evaluaciones llevadas a cabo por el OEFA y los informes del administrador (SMCV).	54
Figura 19. Análisis de la cantidad de Sulfatos en el punto MAS-36 de las mediciones llevadas a cabo por el OEFA en comparación con los informes del administrado (SMCV).	55
Figura 20. Análisis de los niveles totales de Boro en el punto MAS-36, comparando las evaluaciones hechas por el OEFA con los informes del administrador (SMCV).	55
Figura 21. Comparativa de los valores de Conductividad en el punto MAS-52 entre las valoraciones efectuadas por el OEFA y los informes del administrador (SMCV).	56

Figura 22. Análisis de los niveles de Sulfatos en el punto MAS-52 de las mediciones hechas por el OEFA en comparación con los informes del administrador (SMCV).56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Norma usada para comparar el Agua Superficial y Agua Subterránea.....	21
Tabla 2. Estación de monitoreo de Calidad de Agua Superficial UP Cerro Verde 2022	30
Tabla 3. Estación de monitoreo de Calidad de Agua Subterránea UP Cerro Verde 2022	31
Tabla 4. Puntos monitoreados en el Agua Subterránea	32
Tabla 5. Componente/Matriz ambiental y Parámetros Evaluados	37
Tabla 6. Resultados de los parámetros de campo de los puntos de monitoreo en el Río Chili comparados con los ECA para agua Categoría 3 (2015 y 2017).....	39
Tabla 7. Resultados de los factores de campo y el análisis de los puntos de control en el Río Yarabamba en comparación con los estándares de calidad de agua categoría 3 (2015 y 2017).....	44
Tabla 8. Resultados de los parámetros de campo y los analizados por el laboratorio en los puntos de monitoreo de los piezómetros MACN-31 y MA-41, junto con una comparación con los ECA para agua de categoría 3 (2017).	46
Tabla 9. Resultados de los parámetros medidos en el campo y los analizados en el laboratorio de los puntos de monitoreo de los piezómetros MAS-36, MAS-52 y MAS- 146 en comparación con los estándares de calidad del agua categoría 3 (2017).	53
Tabla 10. Parámetros analizados y que excedieron la normativa ambiental	57

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La Sociedad Minera Cerro Verde, ubicada en Arequipa, despliega operaciones mineras que impactan el entorno ambiental, en ambos recursos hídricos, el subterráneo y superficial. Para cumplir los ECAs establecidos, es necesario que se haga de manera continua evaluaciones y así, determinar la influencia de la minería sobre la calidad de este recurso. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de seguimiento, persisten incertidumbres y desafíos en cuanto a cuan efectivo son las medidas correctivas que se implementan y en qué estado se encuentran estos recursos hídricos aledaños a la zona.

El agua es un recurso vital no solo para la vida humana, sino también para los ecosistemas circundantes, la agricultura y otras actividades económicas. Por lo tanto, es imperativo comprender a fondo el impacto de las actividades mineras en la calidad del agua, así como la eficacia de las estrategias de mitigación implementadas.

Este estudio se propone abordar estas preocupaciones mediante una evaluación ambiental exhaustiva del agua superficial y subterránea donde la Unidad minera Cerro Verde tiene influencia. Se buscará identificar posibles fuentes de contaminación, evaluar la calidad del agua en relación con los ECA establecidos, y proponer medidas correctivas adicionales o mejoradas en caso de ser necesario. En este caso, es fundamental que se monitoreen el agua, y usar estos monitoreos como medidas preventivas o línea base para en un futuro aplicar técnicas o método de remediación, mitigación o recuperación de tal recurso. La importancia de este estudio radica en su contribución a la preservación del medio ambiente y la garantía de un suministro de agua seguro y sostenible para las comunidades locales y los ecosistemas afectados por las actividades mineras en Arequipa.

Para poder hacer la evaluación de la calidad ambiental de aguas superficiales y subterráneas en la Sociedad Minera Cerro Verde, específicamente en tres distritos, Uchumayo, Yarabamba y Tiabaya, provincia y departamento de Arequipa, en cumplimiento a las normas ambientales en este caso los ECA para agua, se recolectaran los informes con los resultados de aguas superficiales y subterráneas de la empresa minera mencionada anteriormente que se hicieron el 2022, y conocer cómo se comportó la calidad de estas aguas.

Así, esta investigación se enfocó en monitorear seis estaciones de agua superficial, en el 1er monitoreo cuatro (4) en el segundo monitoreo y cuatro (4) en el tercer monitoreo, así mismo se tendrá a cuatro (4) en el primer monitoreo de agua Subterránea, cinco (5) en el segundo monitoreo y cinco (5) en el tercer monitoreo, con el objetivo de identificar y determinar las propiedades físico-

químicos y así se pueda conocer si se cumple o no con la normativa ambiental vigente, como por ejemplo los ECA agua a través de una comparación.

1.2. Delimitación de la Investigación

Este análisis se centrará en el agua tanto de la superficie como la que se encuentra bajo tierra en la UP Cerro Verde, localizado en los distritos de Uchumayo, Yarabamba y Tiabaya. Esto se hará de acuerdo con su plan de seguimiento, cumpliendo con las regulaciones ambientales (ECA) y siguiendo las normas y guías peruanas que están en vigencia.

La Unidad de Producción Cerro Verde (UP Cerro Verde) es una operación minera ubicada en Arequipa, y es conocida porque produce Cu y Mo, y es una de las principales minas en el país.

La Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. es una empresa peruana dedicada a la extracción y procesamiento de minerales, con un enfoque en la producción responsable y sostenible. La empresa opera en cumplimiento con los estándares ambientales y de seguridad, buscando minimizar su impacto en el entorno y contribuir al desarrollo sostenible de la región.

La UP Cerro Verde ha implementado programas de monitoreo ambiental para evaluar y controlar el impacto de sus operaciones en el entorno circundante, incluyendo el seguimiento del agua superficial y subterránea, así como otras variables ambientales clave. Estos esfuerzos están en línea con los requisitos legales y los estándares internacionales de calidad ambiental. La mina Cerro Verde no solo genera empleo y contribuye al crecimiento económico de la región, sino que también ha establecido programas de responsabilidad social empresarial para apoyar a las comunidades locales en áreas como educación, salud, y desarrollo económico.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el comportamiento de la calidad ambiental de las aguas superficiales y subterráneas del ámbito de influencia de UP Sociedad Minera Cerro Verde - Arequipa, en el cumplimiento a los ECA para agua?

1.3.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cuáles son las principales fuentes de contaminación que afectan la calidad del agua superficial y subterránea en el área de influencia de la UP Sociedad Minera Cerro Verde?
- b) ¿Cuál es el comportamiento ambiental de la calidad físico – química del agua superficial y subterránea de la UP Sociedad Minera Cerro Verde - Arequipa?
- c) ¿Qué instrumentos normativos y guías peruanas vigentes ayudaran a verificar el grado de cumplimiento del monitoreo de la calidad de agua superficial y subterránea de la UP Sociedad Minera Cerro Verde - Arequipa?
- d) ¿Según la evaluación y análisis de los resultados del monitoreo de la calidad de agua superficial y subterránea de la UP Sociedad Minera Cerro Verde - Arequipa, se estarán cumpliendo con los ECA para agua de acuerdo a la normativa vigente?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar una evaluación exhaustiva de la calidad del agua superficial y subterránea en el área de influencia de la Sociedad Minera Cerro Verde en

Arequipa, con el fin de identificar posibles fuentes de contaminación y evaluar el cumplimiento de los estándares ambientales (ECA).

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Identificar las principales fuentes de contaminación que afectan la calidad del agua superficial y subterránea en el área de influencia de la UP Cerro Verde.
- b) Identificar y establecer el comportamiento ambiental de la calidad físico – química del agua superficial y subterránea de la UP Sociedad Minera Cerro Verde - Arequipa
- c) Establecer los instrumentos normativos y guías peruanas vigentes que ayudarán a verificar el grado de cumplimiento del monitoreo de la calidad de agua superficial y subterránea de la UP Sociedad Minera Cerro Verde – Arequipa.
- d) Interpretar y comparar los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua superficial y subterránea de la UP Sociedad Minera Cerro Verde - Arequipa, de acuerdo a los ECA para agua y normativas vigentes.

1.5. Justificación de la Investigación

Protección del medio ambiente: El agua es un recurso vital y su calidad es fundamental para la salud humana, la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas. La investigación busca proteger el medio ambiente identificando posibles fuentes de contaminación y evaluando el impacto de las actividades mineras en la calidad del agua.

Cumplimiento normativo: La Sociedad Minera Cerro Verde está sujeta a regulaciones ambientales y estándares de calidad del agua establecidos por las

autoridades competentes. La investigación justifica la necesidad de cumplir con estas normativas y garantizar que las operaciones mineras se realicen dentro de los límites legales establecidos.

Responsabilidad social empresarial: La empresa minera tiene la responsabilidad de operar de manera sostenible y mitigar cualquier impacto negativo en las comunidades locales y el medio ambiente. La investigación contribuye a esta responsabilidad al identificar áreas de mejora o recursos en riesgo.

Interés público: El agua es un recurso compartido por toda la comunidad, y cualquier impacto en su calidad puede tener repercusiones en la salud y el bienestar de las personas. La investigación busca proteger el interés público al garantizar que el agua en el área de influencia de la mina sea segura y esté libre de contaminantes.

Desarrollo sostenible: Una gestión adecuada del agua es fundamental para el desarrollo sostenible de la región. La investigación contribuye al desarrollo sostenible al identificar prácticas ambientales adecuadas y promover la conservación de los recursos hídricos para las generaciones futuras.

En conclusión, el estudio es válido porque ayuda a cuidar el entorno, seguir las reglas, tener un comportamiento social responsable, atender el bienestar de la comunidad y fomentar el crecimiento sostenible en el área impactada por las labores mineras de la Sociedad Minera Cerro Verde.

1.6. Limitaciones de la Investigación

Las limitaciones encontradas para realizar este trabajo fue el acceso limitado a los lugares de control de agua, tanto superficial como subterránea, en el área que rodea la UP Cerro Verde. A. En esta región, hubo problemas

relacionados con una gestión administrativa lenta en la recolección de datos, lo que provocó un retraso pequeño en el análisis de los resultados conforme a la norma ambiental vigente (ECA), así como en el soporte de los datos obtenidos y su organización para conseguir los objetivos establecidos.

Hablando específicamente estas también serían las limitaciones que se presentarían en la presente investigación:

Interpretación de los resultados: La comparación de los datos de monitoreo con los ECA para agua pudo ser compleja debido a la diversidad de parámetros y a las diferentes escalas de evaluación. Para ello se requirió de un análisis cuidadoso para determinar si los niveles de contaminantes encontrados están dentro de los límites aceptables establecidos por los estándares ambientales.

Limitaciones en la identificación de fuentes de contaminación: La investigación pudo enfrentar dificultades para identificar las fuentes específicas de contaminación que contribuyen también a los niveles detectados de contaminantes en el agua. Sin esta información, pudo ser difícil para la empresa minera tomar medidas correctivas específicas y efectivas.

Contexto local y factores externos: al momento de interpretar los resultados del monitoreo de agua puede estar influenciada por factores externos, como la geología local, las prácticas agrícolas en la zona, y otras actividades industriales además de las mineras. Estos factores fueron considerados al evaluar el impacto de las actividades mineras en la calidad del agua.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

La industria minera, especialmente en regiones como Arequipa, Perú, ha sido objeto de creciente preocupación debido a su impacto potencial en los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Sociedad Minera Cerro Verde, una de las principales empresas mineras en la región, ha estado operando en el área desde agosto de 1993. La extracción de minerales a gran escala y las actividades asociadas, como el procesamiento de minerales y el vertido de desechos, plantean desafíos significativos para la calidad del agua en la región. Por tal motivo se presentan los siguientes antecedentes relacionados al presente estudio:

Para **Torres, R. (2017)** en su investigación titulada: “A propósito del principio de gradualidad. Análisis del proceso de adecuación de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (ECA - agua) en la actividad de la gran y mediana Minería en curso, desde el año 2008 al 2016”, llegaron a las conclusiones:

Los ECA - Agua son metas de políticas para cuidar el medio ambiente y se utilizan como señales para entender cómo está el agua en un lugar y momento específicos. Esto ayuda a las personas a tomar decisiones sobre si se está alcanzando o no la buena calidad del agua.

Para enfrentar el problema de la baja calidad del agua en los ríos de Perú, la Política Nacional del Ambiente, junto con otros planes y herramientas relacionados con el manejo del agua, que son parte de la gestión ambiental, ha establecido metas, directrices, acciones, programas y otros aspectos que tienen como objetivo asegurar que el agua en los ríos de Perú sea de buena calidad, cumpliendo así con los ECA - Agua.

El concepto de gradualidad está aceptado en nuestras leyes ambientales, especialmente en lo que se refiere a los ECA y LMP. Esto indica que, al cambiar estos documentos, se permite que las actividades que ya están en marcha hagan cambios poco a poco para cumplir con las nuevas reglas.

La minería en Perú contribuye significativamente al Producto Bruto Interno del país. Además, debido a que puede causar efectos negativos en el medio ambiente, es uno de los pocos sectores que tiene leyes ambientales modernas. Por otro lado, debido a su historia y a la existencia de malas prácticas por parte de algunas empresas irresponsables, es uno de los sectores que enfrenta más conflictos sociales y ambientales. (p. 119)

Baca, G. (2014) en su investigación titulada: Análisis de los impactos ambientales al recurso hídrico del proyecto de Exploración Minera Chiptaj, llega a las siguientes conclusiones:

Sobre los resultados obtenidos en el monitoreo realizado durante el trabajo decampo realizados en el mes de marzo del año 2010, con la participación de

CIMM PERÚ S.A., para este estudio ambiental se puede observar que los valores reportados por el laboratorio para los parámetros de campo, se encuentran por debajo de las ECA de agua Categoría 3 y las concentraciones de Oxígeno Disueltos indican que las aguas se encuentran con buena oxigenación, ya que presentan una concentración superior al valor mínimo regulado por las ECA. Los valores reportados para el análisis de parámetros fisicoquímicos de todas las estaciones de monitoreo, se encuentran por debajo de los valores límite regulados por la ECA de agua categoría 3, excepto para las estaciones CW-01, CW-02, CW-03 y CW-06, que tienen concentraciones de hierro por encima de lo regulado en las ECA para agua, y las estaciones CW-02 y CW-06 que tienen concentraciones de manganeso por encima de lo regulado en los Estándares de Calidad de Aguas. Los resultados de la evaluación para calidad de cuerpos receptores en época de estiaje, se observa que los parámetros evaluados en los puntos de monitoreo, se encuentran por debajo de los ECA establecidos para la categoría 3 (Aguas para bebida de animales y riego de vegetales), a excepción de la concentración de hierro en el punto de monitoreo CW-1, en el que se superó levemente el estándar correspondiente durante el monitoreo realizado en mayo del 2010. (p, 272)

Madera, L. et al (2016), en su investigación titulado: Evaluación de la calidad del agua en puntos tributarios del río Cesar (Colombia), fundamenta y concluye así su trabajo:

Empleando biodiversidad acuática como indicadores biológicos de contaminación. Los alcances que desea plantear es la determinación de la calidad del recurso hídrico en puntos de intersección tributaria con el río Cesar, empleando biodiversidad acuática como evidencia biológica de alteración de la calidad del agua establecida en Colombia. Resolvió trabajar con cinco puntos de

monitoreo en dos periodos estiaje y avenida. Se acopiaron muestras de agua para su evaluación de propiedades físicas y químicas además de la selección de macro invertebrados para luego proceder a su conteo y determinación mediante estereomicroscopio y claves de clasificación taxonómicas. Tomando en consideración la normativa de ese país sobre retorno de aguas tratadas de efluentes mineros a ríos, lagos y otros. (Resolución 0631 de 2015). Los datos obtenidos refieren que los contenidos de hierro y sólidos suspendidos totales sobrepasan los rangos aceptables en vertimientos procedentes de minería y agroindustrias dichas variables vinculadas a procesos erosivos. Además, los valores de pH, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, y alcalinidad, se encontraron valores aceptables para el bienestar de la biodiversidad acuática. El resultado final del índice de los indicadores biológicos resuelve la calidad del agua de la primera estación (E1) como agua con bajo grado de contaminación, E2-E3-E4 y E5 como agua de tolerable contaminación, sin embargo, el agua de la estación E5 expone valores por debajo de todas las estaciones, pero los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos elevadas. (p.110)

Morales, J. (2022) en la tesis titulada: Evaluación del monitoreo de la calidad de agua superficial de la laguna Angascancha para el consumo humano – Colquijirca Pasco 2019, concluyendo en:

En el punto AANGAS1, ubicado en la parte suroeste de la laguna, que es la zona de captación del recurso, existe un exceso en la laguna. Exigencia química de oxígeno, aluminio y enterococos, rangos aceptados por las normas de calidad de ECA. Tipo 1 Subtipo A2.

En AANGAS2, ubicado en la parte suroeste de la laguna, que es la cuenca, hay demandas bioquímicas de oxígeno, demandas químicas de oxígeno, turbidez

y concentraciones superiores a los enterococos. Tipo 1 Subtipo A2 en la medida en que sea aceptable para los estándares de calidad ambiental.

Ubicado en la parte occidental de la laguna, AANGAS3 tiene un área de captación de, concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno, turbidez y enterococos, tolerados en calidad ambiental. Tipo 1 Subtipo A2.

El punto A ANGAS, ubicado en la parte noreste de la laguna, área de captación tiene niveles por encima del requisito químico para concentraciones de oxígeno, aluminio y enterococos, dentro de límites aceptables. Reconocido por normas de calidad ambiental para aguas de tipo 1 subcategoría A2.

El punto AANGAS5, en la región noreste de la laguna, es un área de la cuenca de la cuya concentración supera en la demanda de oxígeno y enterococos, dentro de las tolerancias. Agua Tipo 1 Subclase A2 Norma de calidad, Ubicada en la parte sureste de la laguna, AANGAS 6 es la cuenca hidrográfica número con concentraciones superiores demanda química de oxígeno y enterococos, y dentro de tolerancias. El cual se reconoce mediante el reglamento de cualidad ambiental para aguas Tipo1 Subtipo A2. (p. 81)

Mendoza, M. (2018) en la tesis de grado: Evaluación fisicoquímica de la calidad del agua superficial en el centro poblado de Sacsamarca, región Ayacucho, Perú, concluye en lo siguiente:

Los resultados obtenidos evidenciaron que la mayoría de parámetros se encuentran por debajo de los límites establecidos en la normativa peruana según el sector al que pertenecen (estándares de calidad ambiental para agua – categoría III, reglamento para el agua de consumo, límites máximos permisibles para efluente doméstico). 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 (2008 y 2017 respectivamente).

El diagnóstico de las aguas superficiales en Sacsamarca resulta positivo, sin embargo, la presencia de fosfatos mayores a 1 mg/L en casi todas las estaciones de monitoreo durante la segunda campaña (E1= 1,059; E2=3,0644; E3=0,6178; E4=8,8356; E5=1,3599; E6=1,5158; E7=1,7744; E8=1,1171 en mg/L) debe significar una alerta para las autoridades porque este parámetro es un indicador de eutrofización y contaminación de aguas.

Las cantidades elevadas de arsénico (primera campaña: E1=0,1008; E3=0,9915; E5=0,9985, segunda campaña: E1=0,1338; E3=0,4341; E5= 0,9389 en mg/L) en el río Caracha requieren un monitoreo más exhaustivo de la concentración de este elemento en la subcuenca. El agua de la laguna de Uerpococcha y el reservorio pueden seguir usándose con normalidad. En el puquial se debe prescindir del lavado de prendas de vestir, al igual que en el río Colmapaccha. (p. 92)

Ramos, L. (2022) en su investigación titulada: Evaluación de calidad de agua del Rio Chanquillo, en zona de influencia por actividades mineras, distrito de Gorgor, Cajatambo – 2021, concluye en lo siguiente:

Se concluye que no hay un grado negativo de influencia de la actividad minera y el nivel de alteración de calidad de las aguas del rio Chanquillo es mínima por los vertimientos a los cuerpos de agua receptores de los efluentes de la mina Chanca – Buenaventura en el año 2021, se descartó la presencia en concentraciones alarmantes de algunos metales analizados en laboratorio con valores por debajo de los rangos permitidos en la normatividad peruana, como son, pH, cianuro wad, cromo, cadmio, cobre, plomo y zinc sin embargo el

mercurio presenta valores muy cercanos los permisibles (en estiaje tiene un valor de 0,001 mg/L, valor que coincide con el valor máximo permisible que es 0.001 mg/L), este valor referente a la sub categoría D1 agua para riego de vegetales , quedando como punto de partida para observaciones en controles posteriores de dicho parámetro.

Se evaluó la presencia de parámetros inorgánicos y orgánicos que de acuerdo a sus concentraciones en las aguas del rio Chanquillo supondrían un riesgo, pero en su comparación con los ECAS agua vigente resolvieron lo siguiente: cianuro wad, arsénico total, cadmio, cromo, plomo, cobre, zinc, estos parámetros inorgánicos analizados no superan los valores guía de los estándares de calidad ambiental para agua es más presentan valores muy por debajo de los límites. Además, el contenido de Hg (un elemento no orgánico) mostraron cifras idénticas al límite de calidad ambiental para el agua, lo que podría ser peligroso si sobrepasa ese nivel cercano a lo dañino. Igualmente, se examinó la cantidad de aceites y grasas, obteniendo resultados inferiores a los límites guía de los ECA. Y, para terminar, pero no menos relevante, el pH, con valores que fueron menores a lo que establece la normativa nacional sobre agua actual. (p. 68)

Gallardo, R. (2021) en la tesis de grado: “Verificación del cumplimiento de los parámetros del ECA agua para los anexos de Rio Pisco y Mesapata mediante el análisis fisicoquímico y microbiológico – del Distrito de Oxapampa – Pasco”, concluyó en:

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la captación Rio Pisco – Mesapata incumplen con lo establecido en el ECA Agua, exceptuando el E. Coli, ya que al tener la mínima presencia de agentes patógenos (microbiológicos) nos da como un indicador de calidad, sobre la contaminación;

cuando existe la presencia de E. Coli en los cuerpos de agua, esto nos indica una mayor probabilidad que esta contenga alto grado de contaminación microbiológica la captación Rio – Pisco – Mesapata pertenece a la categoría A – 1 según el D.S 004-2017 - MINAM, debido a que los agentes microbiológicos encontrados no son agresivos y pueden ser atenuados con una desinfección, la cual puede ser con un sistema convencional.

De acuerdo con el objetivo general planteado, se logró cuantificar y valorar a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la captación Rio Pisco – Mesapata de los anexos de Mesapata y Rio Pisco para verificar el cumplimiento del Estándar de Calidad de Agua. Por tanto, llega a la conclusión que el tipo de tratamiento según las normas vigentes sea de modo convencional por pertenecer a la categoría A – 1 lo que significa que el agua de consumo de personas se trate por desinfección. (pp. 60,61)

2.2. Bases Teóricas - Científicas

La evaluación ambiental del agua en áreas de influencia minera requiere una comprensión sólida de los conceptos y principios relacionados con la calidad del agua, los impactos de la actividad minera en los recursos hídricos y las estrategias de gestión ambiental. A continuación, se presenta un marco teórico que aborda estos aspectos clave:

2.2.1. La calidad del agua

Se define por la presencia y concentración de diferentes sustancias químicas y biológicas en el agua, así como por sus propiedades físicas y organolépticas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019), la calidad del agua se evalúa mediante parámetros como la turbidez, el pH, la

concentración de metales pesados y la presencia de contaminantes orgánicos. (OMS, 2017)

Gleick (2002), define al agua como el recurso natural que no es infinito y debe ser visto como un bien de todos, ya que su valor es fundamental para la salud de las personas y de todas las criaturas vivas. Además, se menciona que el 96.5% de este recurso está comprendido por los océanos y los demás por los glaciares, aguas subterráneas, aire, lagos, ríos, zonas húmedas, embalses, entre otros lugares. De manera similar, al relacionar dicho elemento, el agua, con la contaminación ambiental ocasionada por el hombre, Lekshmi Prasad y Mophin (2017) comenta que el incremento poblacional del ser humano de viene también, en un incremento de la demanda de los recursos naturales, lo cual trae consecuencias negativas tanto para la calidad como para la cantidad de reservas de acuíferos dulces (Chirinos, 2022, pp. 9,10).

Sierra (2011), indica que cuando un contaminante entra en el agua, su concentración se ve afectada por fenómenos como de dispersión, difusión, reacción, sumideros y de advección, en este último se cambia la concentración del contaminante, pero no cambia su composición química, por la fuerza o impulso del caudal. Frente a esta problemática descrita, se desarrollaron métodos para evaluar la calidad del agua entre los cuales se encuentran la cuantificación biológica, física y química del agua, posterior a esto fueron agrupadas dichas características hasta conformar los denominados Índices de Calidad del Agua, los cuales, según Babaei et al. (2011) fueron diseñados en conformidad con los usos del recurso hídrico, en base a las políticas de evaluación y monitoreo de la calidad del agua de cada país. (Chirinos, 2022, p. 11)

2.2.2. Impactos de la actividad minera en el agua

La actividad minera puede tener diversos impactos negativos en los recursos hídricos, incluida la contaminación por drenaje ácido de mina, la liberación de metales pesados, la sedimentación y la alteración del flujo de agua subterránea. Estos impactos pueden afectar la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos y las comunidades humanas dependientes del agua. (Smith, 2017).

2.2.3. Gestión ambiental en minería

La gestión ambiental en la industria minera involucra la implementación de medidas para prevenir, mitigar y remediar los impactos ambientales adversos. Esto incluye el monitoreo continuo de la calidad del agua, la aplicación de tecnologías de tratamiento de efluentes mineros y la participación de las partes interesadas en la toma de decisiones ambientales. (García, 2020)

2.2.4. Evaluación Ambiental del Agua

La evaluación ambiental del agua es un proceso sistemático que implica la recopilación, análisis y evaluación de datos relacionados con la calidad del agua y los factores que la afectan, con el fin de comprender su estado y tendencias a lo largo del tiempo. Esta evaluación es fundamental para la identificación de problemas ambientales, la toma de decisiones informadas y el diseño de medidas de gestión y conservación del agua. (Smith, 2018).

2.2.5. Impactos de la Minería en los Recursos Hídricos

La actividad minera puede tener una serie de impactos significativos en los recursos hídricos, que van desde la contaminación del agua superficial y subterránea hasta la alteración de los regímenes de flujo y la disminución de la disponibilidad de agua para usos domésticos, agrícolas e industriales. Estos

impactos pueden ser el resultado de la liberación de sustancias tóxicas durante la extracción y procesamiento de minerales, así como de la modificación del paisaje y la vegetación circundante. (González, 2016).

2.2.6. Parámetros físicos, químicos y biológicos del agua

Los principales parámetros utilizados para medir el agua varían desde precisas determinaciones químicas cuantitativas hasta determinaciones cualitativas biológicas y físicas. (García, 2019, p. 18)

a) Parámetros físicos

La característica física más importante es su contenido total de sólidos, el cual está compuesto por materia flotante y materia en suspensión en dispersión coloidal y en disolución, conductividad, alcalinidad. Otras son el olor, temperatura y color.

b) Parámetros químicos

Dentro de estos pueden ser orgánicos, inorgánicos y gases.

- pH
- Oxígeno Disuelto (OD)
- Cloruros
- Dureza Total (Dureza de Calcio (Ca)
- Aceites y Grasas (A/G)
- Dureza de Magnesio (Mg))

c) Características biológicas

Las aguas sin tratar podrían contener muchos microorganismos que pueden o no causar enfermedades. De acuerdo con Sierra Ramírez (2011), los microorganismos más relevantes que se hallan en el agua y que pueden

ocasionar enfermedades son las bacterias, los virus, las algas, los hongos y ciertos protozoos. Los parámetros que se analizan son:

- Coliformes Totales
- Coliformes Termotolerantes (García, 2019, pp. 18 - 28)

2.2.7. Normativas y Estándares Ambientales en la Industria Minera

La actividad minera está sujeta a una amplia gama de normativas y estándares ambientales a nivel nacional e internacional que buscan regular sus operaciones y mitigar sus impactos en el medio ambiente, incluyendo los recursos hídricos. En el contexto peruano, la industria minera está regulada por el Ministerio del Ambiente (MINAM) y otras entidades gubernamentales que establecen normativas específicas para proteger la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos. (MINAM, 2020)

En el marco de estas normativas, se establecen límites máximos permisibles (LMP) para diversos contaminantes en el agua, como metales pesados y sustancias químicas tóxicas, con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente. Estos LMP se basan en criterios científicos y son revisados periódicamente para reflejar los avances en el conocimiento científico y las mejores prácticas ambientales. (ICMM, 2019).

Además de las normativas gubernamentales, la industria minera también puede adherirse a estándares voluntarios y códigos de conducta desarrollados por organizaciones internacionales y asociaciones industriales. Por ejemplo, la Iniciativa de Minería Responsable (IMR) y el Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM) han establecido estándares de sostenibilidad ambiental que incluyen criterios específicos relacionados con la gestión del agua y la protección de los recursos hídricos en las operaciones mineras. (IMR, 2020).

El cumplimiento de estas normativas y estándares ambientales es fundamental para garantizar la sostenibilidad y la responsabilidad social de la industria minera, así como para proteger los recursos hídricos y los ecosistemas acuáticos en las áreas de influencia de las operaciones mineras.

2.2.8. Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

Es fundamental entender claramente qué son los ECAs, así lo señala la OEFA en 2021. Según el artículo 31, incisos 1 y 2 de la Ley N° 28611, que es la “Ley General del Ambiente”, un ECA es una medida que establece el nivel de concentración o cantidad de elementos, sustancias o características físicas, químicas y biológicas presentes en un medio receptor, como el aire, el agua o el suelo, siempre y cuando no representen un riesgo significativo para la salud de las personas ni para el medioambiente. Esta concentración o cantidad, según el parámetro específico, puede expresarse como máximos, mínimos o rangos. Los ECA deben ser respetados en la creación de normas, políticas públicas y cuando se diseñe o apliquen herramientas para la gestión ambiental (p. 6)

Así también Wieland, P. (2017) afirma que “los ECA son instrumentos de gestión ambiental que establecen las condiciones de calidad adecuadas para el ambiente y sus componentes, indicando cuál es el nivel máximo de inmisión de ciertos elementos o sustancias en un cuerpo receptor con el fin de evitar su exceso y procurar la protección de la salud y el ambiente” (p. 102).

2.2.9. Marco Legal

“ECA para agua, categoría 3: subcategorías D1 y D2 aprobado por la RD N.º 004-2017-MINAM”

“Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM)”

“Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3 (D.S. N° 004-2017-MINAM)”

La UP Cerro Verde, posee 32 IGAs, con el último instrumento que se aprobó a través del “Octavo Informe Técnico Sustentatorio de la Modificación de Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde” a través R.D. N.° 00144-2022-SENACE-PE/DEAR, el 27 de setiembre de 2022.

Tabla 1. Norma usada para comparar el Agua Superficial y Agua Subterránea

Componente Ambiental	Categoría para comparar	Documentos de comparación	País
Agua Superficial	“ECA para agua categoría 3, subcategoría D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo y D2: Bebida de animales”	D.S. N° 015 – 2015 – MINAM (*)	PERÚ
	“ECA para agua categoría 3, subcategoría D1: Riego de vegetales y D2: Bebida de animales”	D.S. 004 – 2017 – MINAM (**)	
Agua Subterránea	“ECA para agua categoría 3, subcategoría D1: Riego de vegetales y D2: Bebida de animales”	D.S. 004 – 2017 – MINAM (**)	

(*) Aprobado en el IGA, «Octavo Informe Técnico Sustentatorio de la Modificación de Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde» aprobado 27 setiembre 2022, R.D., N.° 00144-2022-ENACE-PE/DEAR

(**) Comparar como referencia

Fuente: MINAM (2022). “Reporte N° 00011-2022-OEFA/DEAM-STEC”

Para el caso de agua subterránea, se realizó la comparación con los datos reportados en la línea base del administrador (1), y los informes de monitoreo presentados trimestralmente al Ministerio de Energía y Minas (MEM), correspondientes al periodo del 2013 al 2021(2)

(1) «Modificación del estudio de impacto ambiental y social de la expansión de la unidad de producción Cerro Verde», aprobada mediante la Resolución Directoral N.º 072-2016-SENACE-DCA el 26 de agosto del 2016.

(2) «Octavo Informe Técnico Sustentatorio de la Modificación de Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde» aprobado el 27 de setiembre de 2022 con Resolución Directoral N.º 00144-2022-ENACE-PE/DEAR.

2.3. Definición de Términos Conceptuales

El agua superficial. Se refiere al agua que se encuentra en la superficie de la tierra en cuerpos como ríos, lagos, embalses, arroyos y estanques. Este tipo de agua es visible y se puede acceder fácilmente para su uso, ya sea para consumo humano, riego agrícola, recreación u otros fines. El agua superficial es susceptible a la contaminación debido a su exposición directa a actividades humanas y a la escorrentía de contaminantes desde la tierra circundante. (UNEP, 2007).

Agua subterránea. Se refiere al agua que se encuentra debajo de la superficie de la tierra, en los poros y espacios de las capas de roca y suelo conocidas como acuíferos. Esta agua proviene de la infiltración de la lluvia y otros tipos de precipitación que se filtran a través del suelo y se acumulan en los espacios porosos de las formaciones geológicas subterráneas. El agua subterránea es una importante fuente de abastecimiento de agua potable y puede ser extraída mediante pozos para su uso en diversas actividades humanas. (USGS, 2019).

Calidad del Agua: Es un conjunto de características, físicas, Químicas y microbiológicas del agua, determinadas básicamente por los valores establecidos en la normativa peruana. (Pardo, 2018, p. 47)

De acuerdo con la Autoridad Nacional del Agua (ANA), y “Protocolo Nacional para el Control de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (2016)”, esta investigación proporciona información sobre la calidad del agua en su estado natural y actual, así como sobre la habilidad para diluir contaminantes y clasificar los cuerpos de agua naturales. Esta clasificación permitirá identificar las aguas de calidad aptas para usos prioritarios y para la protección o conservación. (ANA, 2016)

La calidad del agua se refiere a las características físicas, químicas y biológicas del agua que determinan su idoneidad para diversos usos, incluidos el consumo humano, la agricultura, la industria y el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos. Esta incluye parámetros como la concentración de sustancias químicas, la turbidez, el pH, la temperatura y la presencia de microorganismos patógenos. (Metcalf, 2003).

Estándares de Calidad Ambiental (ECA). valores fijados por el MINAM cuyo objetivo es que se garantice y conserve la calidad ambiental utilizando instrumentos de gestión ambiental actualizados y que evalúen de manera detallada (MINAM)

Recursos Hídricos. Comprenden todas las fuentes de agua disponibles en una región, incluidos los ríos, lagos, acuíferos, glaciares y aguas subterráneas. Estos recursos son fundamentales para sostener la vida humana, la agricultura, la industria y los ecosistemas naturales, y su gestión sostenible es esencial para garantizar su disponibilidad a largo plazo. (Gleick, (1993).

Impacto Ambiental. Se refiere a los efectos directos o indirectos que una actividad humana tiene sobre el medio ambiente, incluidos los recursos naturales, los ecosistemas y la biodiversidad. Estos impactos pueden ser positivos o negativos y pueden manifestarse a diferentes escalas, desde local hasta global, y a lo largo de diferentes períodos de tiempo. (Glasson, et al 2012).

Monitoreo de calidad de agua. De acuerdo con la Autoridad Nacional del Agua (ANA), se trata del procedimiento que permite medir la calidad del agua, con la finalidad de supervisar la exposición a contaminantes en el uso del agua y gestionar las fuentes de contaminación.

Contaminación del agua. Se refiere a la introducción de sustancias extrañas, como productos químicos, desechos industriales, desechos agrícolas, microorganismos patógenos u otras materias, en cuerpos de agua como ríos, lagos, océanos y acuíferos, en concentraciones que exceden los niveles naturales o los considerados seguros para la salud humana y el medio ambiente. Esta contaminación puede tener diversos impactos negativos, incluida la degradación de la calidad del agua, la pérdida de biodiversidad acuática, la afectación de los ecosistemas y la amenaza para la salud pública. (Metcalf , 2003).

Protocolo de Monitoreo. Es un conjunto de procedimientos y directrices establecidos para llevar a cabo la recopilación sistemática de datos y la observación de ciertos parámetros, fenómenos o procesos en un entorno específico. En el contexto del monitoreo del agua, un protocolo de monitoreo podría incluir la identificación de los parámetros a medir (como la temperatura, el pH, la concentración de contaminantes, etc.), la frecuencia y ubicación de las muestras, los métodos de muestreo y análisis, así como la interpretación y presentación de los resultados obtenidos. (EPA, 2012).

2.4. Enfoque filosófico - epistémico

Basado en este enfoque, este trabajo investigativo podría estar fundamentado en varias corrientes filosóficas y epistemológicas dependiendo de la estructura y como se lleva a cabo el estudio. Aquí se menciona algunas posibles perspectivas:

Realismo científico: Este enfoque sostiene que la investigación busca descubrir hechos objetivos sobre el estado del agua superficial y subterránea en la zona de influencia de la mina. Busca establecer verdades sobre la calidad del agua y su impacto ambiental con base en datos empíricos y métodos científicos rigurosos.

Constructivismo: Desde esta perspectiva, se podría enfatizar cómo se construye el conocimiento sobre el estado ambiental del agua a través de la interacción entre los investigadores, los datos recogidos y los marcos conceptuales utilizados. Se consideraría cómo las interpretaciones y las teorías influyen la evaluación ambiental y la formulación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua.

Pragmatismo: Este enfoque podría destacar la utilidad práctica de la evaluación ambiental. Se enfocaría en cómo los resultados del estudio pueden ser aplicados para mejorar la gestión ambiental y la toma de decisiones en relación con el manejo del agua en el área de influencia de la mina.

Ecologismo profundo: Este enfoque filosófico podría influenciar una investigación que busca entender el estado del agua en un contexto más amplio de interconexión entre los sistemas naturales y humanos, promoviendo la conservación y el respeto por la naturaleza como un fin en sí mismo.

Epistemología crítica: Este enfoque cuestiona cómo se produce el conocimiento científico y cómo se aplican los estándares de calidad ambiental, poniendo énfasis en las estructuras de poder y las relaciones de dominación que pueden influenciar la forma en que se realiza y se interpreta la evaluación ambiental.

Cada uno de estos enfoques filosófico-epistémicos proporciona una lente única a través de la cual se puede entender y realizar la investigación ambiental en el contexto de la evaluación de aguas superficiales y subterráneas en la zona de influencia de una mina como Sociedad Minera Cerro Verde en Arequipa.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación tiene un enfoque Descriptivo, con el objetivo de proporcionar una descripción detallada de la calidad del agua y sus posibles variaciones en el tiempo en el área de influencia de Sociedad Minera Cerro Verde en Arequipa. (Smith, 2021), las cuales se podrán determinar el grado de cumplimiento a través de la normativa ambiental vigente para el caso.

3.2. Nivel de investigación

Se refiere al estudio que se realiza para solucionar problemas concretos o para satisfacer necesidades específicas. En este caso, la evaluación ambiental tiene como objetivo aplicar conocimientos científicos y técnicos para monitorear y evaluar el estado del agua en el área de influencia de la mina, cumpliendo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos para el agua en Arequipa. El propósito final es contribuir a la gestión ambiental y a la toma de decisiones relacionadas con el manejo sostenible de los recursos hídricos en la región afectada por la actividad minera.

3.3. Característica de la investigación

La presente investigación tiene las siguientes características:

Las características distintivas de esta investigación incluyen la recopilación de datos de monitoreo del agua de manera regular y sistemática (3 monitoreos al año), la comparación de los resultados con los estándares de calidad ambiental (ECA) establecidos y el análisis de la efectividad de las medidas de mitigación ambiental implementadas por la empresa minera. (Smith, 2021).

Así mismo, este trabajo se caracteriza por ser no experimental del tipo descriptivo.

El estudio es Procedimental, debido a que presenta un procedimiento, comenzando con una noción del problema expuesto, para seguir con una hipótesis y concluir con un objetivo o resultado final.

Es Sistemática, se centra en llevar un orden para lograr objetivos planificados.

Y estructurada porque cada parte se relaciona el uno con el otro.

3.4. Métodos de investigación

El método fue el cualitativo, complementado con enfoques cuantitativos para el análisis de datos. Se llevó a cabo la recopilación de los resultados del monitoreo de la calidad del agua superficial y subterránea en el área de influencia de Sociedad Minera Cerro Verde en Arequipa, fueron datos de calidad del agua, incluidos parámetros físicos, químicos y biológicos, a lo largo de un período de tiempo de 3 monitoreos al año en este caso del año 2022 para evaluar las tendencias y variaciones en la calidad del agua en respuesta a las actividades mineras y las medidas de mitigación implementadas antes de la evaluación. (González, 2021).

3.5. Diseño de la investigación

La presente es una investigación que utilizó un diseño de estudio longitudinal para recopilar datos a lo largo de un período de 1 año en 3 monitoreos, lo que permitió observar y documentar tendencias y cambios en la calidad del agua a lo largo de ese tiempo en respuesta a las actividades mineras y las medidas de mitigación implementadas por la empresa ya mencionada. (Smith, 2021).

3.6. Procedimiento del muestreo

3.6.1. Población

La población es la calidad del agua superficial y subterránea en el ámbito de influencia de la UP Sociedad Minera Cerro Verde - Arequipa, es decir el desarrollo de la recopilación de los resultados del monitoreo, en las estaciones indicadas por la empresa ya mencionada, en el cumplimiento a las normas ambientales vigentes a favor de nuestro medio ambiente.

La UP Cerro Verde, hidrográficamente, se encuentra distribuida en 10 microcuencas: Del Ataque, Tinajones, Enlozada, Huayrondo, Siete Vueltas, Linga (alta), Cañón Roto, San José, Cerro Verde y La Gloria, las microcuencas anteriormente mencionadas a excepción de Linga, se encuentran en la cuenca del Quilca Víctor Chili, y solo Linga pertenece a la cuenca del río Tambo. (MINAM, 2022)

3.6.2. Muestra

La muestra estuvo dada por los puntos de monitoreo para evaluar la calidad del agua superficial y subterráneo de la UP Sociedad Minera Cerro Verde – Arequipa. Por tanto, se enfocó en el monitoreo de seis (6) estaciones de muestreo de agua superficial en el 1er monitoreo cuatro (4) en el segundo

monitoreo y cuatro (4) en el tercer monitoreo, así mismo se tuvo a cuatro (4) en el primer monitoreo de agua Subterránea, cinco (5) en el segundo monitoreo y cinco (5) en el tercer monitoreo.

Un breve descripción y localización de los puntos monitoreados son detallados en la tabla a seguir:

Tabla 2. Estación de monitoreo de Calidad de Agua Superficial UP Cerro

Verde 2022

Estación de monitoreo	Descripción	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19L		
		Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
MICROCUENCA DEL RÍO CHILI				
QECV-02*	localizado en el río Chili, aguas arriba del puente Uchumayo.	214969	8181832	1987
M-34	localizado en el río Chili, aguas abajo de la confluencia con Postrerío (río Mollebaya), antes de la parte baja de la quebrada Huayrondo.	224324	8178895	2150
M-22	Ubicado en el río Chili, aguas abajo de la quebrada Huayrondo.	223651	8178804	2130
ASU-01(1)	Arriba del punto QECV-02 a 1400 m en línea recta, aproximadamente	216337	8181581	1974
SUBCUENCA DEL RÍO YARABAMBA				
ASU-02(1)	Situado en el río Yarabamba, a 750 m al norte de la Subestación Eléctrica de Yarabamba, aguas abajo del ingreso de la Quebrada Siete Vueltas.	231039	8174328	2312
ASU-03(1)	Situado en el río Yarabamba, a 500 m aguas abajo de la confluencia del río Yarabamba con quebrada Honda, aguas arriba del ingreso de la Quebrada Siete Vueltas.	233072	8172349	2367

(1): “El punto ASU-01, ASU-02 y ASU-03 son puntos identificado por OEFA, no forma parte del IGA de Soc. Minera Cerro Verde”

(2): “Descripción que toma como referencia el Octavo Informe Técnico Sustentatorio de la Modificación de Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde, aprobado con la Resolución Directoral N.º R.D. N° 00144-2022-SENACE-PE/DEAR del 27 de setiembre de 2022”.

* “Debido a un error material, en la cadena de custodia y en los informes de ensayo en el segundo monitoreo, el código de monitoreo de este punto figura como QEVC-02, sin embargo, el código correcto es QECV-02”.

Fuente: (MINAM, 2022). “Reporte N° 00011-2022-OEFA/DEAM-STEC.”

Una breve descripción y localización de los puntos monitoreados de Agua

Subterránea son detallados en la siguiente Tabla:

Tabla 3. Estación de monitoreo de Calidad de Agua Subterránea UP Cerro Verde 2022

Estación de monitoreo	Descripción	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19L		
		Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
MAS-36	Piezómetro situado al noroeste de las canteras Tinajones, en el sector de la cuenca media de la quebrada de mismo nombre.	219119	8176136	2288
MA-41	Piezómetro situado a 600 m de la estación S-4A, aguas debajo de la quebrada Huayrondo y a 2000 metros al lado del muro de contención del PAD 4B(a).	226641	8172486	2511
MAS-146	cuenca Tinajones, aproximadamente a 900 m del dique del depósito de relaves Enlozada, estribo izquierdo, y a aproximadamente 40 m del lado izquierdo de la carretera panamericana Sur(b)	219916	8174333	2487
MAS-52	Piezómetro situado a 85 m al lado derecho de la ruta departamental AR 115 en dirección a la UP Cerro Verde, parte baja de la quebrada Enlozada(a).	219643	8177915	2216
MACN-31	Piezómetro localizado a 2800 m al sur oeste del PAD 4A, en el centro de la quebrada 7 vueltas(a).	229070	8169228	2502

(a) “Códigos establecidos en el Plan de Manejo Ambiental del Sexto Informe Técnico Sustentatorio de la Modificación de Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde, aprobado el 01 de octubre de 2021 con Resolución Directoral N° 00131-2021-SENACE-PE/DEAR”

(b) “Descripción que toma como referencia el Informe N.º 003-2019-OEFA-DEAM-STEC «Evaluación ambiental en el área de influencia de la unidad de producción Cerro Verde de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. -2018”

Fuente: “(MINAM, 2022). Reporte N° 00011-2022-OEFA/DEAM-STEC”.

Tabla 4. Puntos monitoreados en el Agua Subterránea

Microcuenca	Componente Minero	Periodo de Ejecución		
		1er Monitoreo	2do Monitoreo	3er Monitoreo
Quebrada Enlozada	Depósito de relaves La Enlozada	MAS-36, MAS-52	MAS-36, MAS-52, MAS-146	MAS-36, MAS-52, MAS-146
Quebradas Huayrondo y Siete vueltas	Depósito de desmontes Cerro Negro, Tajo Cerro Negro, depósito de desmontes Sureste y PAD de lixiviación 4B	MACN-31, MA-41	MACN-31, MA-41	MACN-31, MA-41

Fuente: MINAM, 2022. Reporte N° 00011-2022-OEFA/DEAM-STEC.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- **Reportes de resultados.** Para la presente investigación, se recopilaron los resultados de monitoreo de agua superficial y subterránea realizados en el área de influencia de Sociedad Minera Cerro Verde en Arequipa durante el año 2022 (3 monitoreos). Las muestras de agua fueron recolectadas según los protocolos estándar de muestreo y análisis de agua, utilizando botellas de muestreo estériles para el agua superficial y bombas de agua subterránea para el agua subterránea los cuales ya se encuentran registrados en los reportes.
- **Análisis de resultados.** Los análisis de laboratorio se llevaron a cabo utilizando equipos y técnicas de laboratorio reconocidos internacionalmente para determinar la concentración de parámetros físico-químicos, como pH, turbidez, metales pesados, nutrientes, entre otros. Estos resultados se compararon con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos

por las autoridades ambientales pertinentes para evaluar el cumplimiento de los mismos.

- **Normas Ambientales.** Consistió en utilizar los parámetros de valores normales para realizar la comparación y análisis en busca de identificar el grado de cumplimiento a esta norma ambiental. (NIST, 2020).

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para procesar y analizar los datos recopilados durante la investigación, se emplearon las siguientes técnicas:

Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA):

Los resultados de las pruebas de calidad del agua fueron confrontados con los estándares de calidad ambiental que han sido fijados por los organismos responsables del medio ambiente.

Se verificó si los valores obtenidos para cada parámetro cumplen con los límites máximos permisibles definidos en los ECA, identificando así posibles incumplimientos ambientales.

- **Análisis descriptivo:**

Después de comparar los resultados con los ECA se pasó a realizar un análisis para valorar el grado de cumplimiento de los parámetros evaluados con la normativa, de esa manera poder identificar los impactos ocasionados y poder hacer recomendaciones a seguir para mitigar esos impactos.

- **Gráficos y Visualizaciones:**

Se utilizaron gráficos y visualizaciones, como histogramas, diagramas de caja y gráficos de series temporales, para representar los datos de manera clara, comprensible y de manera didáctica. (García, 2022).

3.9. Orientación ética

La investigación actual incluye datos importantes y significativos sobre el asunto que se está estudiando. La información que se recogerá se tomará de fuentes primarias confiables que están debidamente reconocidas. Además, se ha organizado de acuerdo con el formato que ofrece la UNDAC a través de su oficina de grados y títulos. Los resultados y el análisis se mostrarán de acuerdo con los objetivos establecidos.

Se siguieron las pautas éticas específicas para la investigación ambiental, incluida la consideración de los principios de sostenibilidad, precaución y responsabilidad intergeneracional. Se protege la confidencialidad de la información recopilada durante el estudio, manejando los datos de manera segura y de anonimizar cualquier información que pueda identificar a los participantes en este caso la empresa minera.

Se busca la transparencia en todas las etapas de la investigación, desde la planificación hasta la publicación de los resultados, se compartirá los hallazgos de manera clara y accesible con todas las partes involucradas y con el público en general. Se consideraron las perspectivas y preocupaciones de todas las partes, incluidas la comunidad local y la empresa minera en mención. De la misma manera, se mencionaron todas las referencias de donde se sacó la información para enriquecer el nuevo conocimiento, y puedo asegurar que es un estudio excepcional.

Por último, esta investigación se centra en cómo se cumplen los Estándares de Calidad Ambiental para el agua según el ECA de Agua Categoría 3 (D. S. N° 015-2015-MINAM) y el ECA de Agua Categoría 3 (D. S. N° 004-

2017-MINAM). Se analizan los parámetros establecidos para verificar cómo se cumplen.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Para lograr los resultados de este estudio, se reunió información sobre la calidad del agua en la superficie del río Chili, que se ve afectada por varios depósitos de desmonte como Sureste, PAD de lixiviación 4B, Tajo Cerro Verde y Tajo Santa Rosa. También se consideró el depósito de desmonte Noreste, PAD Fase III, PAD I Fase I y II, así como el depósito de relaves La Enlozada, el depósito de desmonte Sur Oeste y el depósito de desmonte Oeste. Además, se analizó la calidad del agua subterránea en los piezómetros cercanos a los depósitos de desmonte Cerro Negro y Tajo Cerro Negro, el depósito de desmonte Sureste, PAD de lixiviación 4B y el depósito de relaves La Enlozada, que pertenece a la unidad de producción Cerro Verde, y sobre el cual se basa lo que se explicará a continuación.

4.1.1. Información general de la actividad realizada

Los factores del medio ambiente y los aspectos medidos en la revisión ambiental que se realiza en la zona de impacto de la UP Cerro Verde están mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 5. Componente/Matriz ambiental y Parámetros Evaluados

Matriz Ambiental	Parámetros Evaluados	Cantidad de Puntos Evaluados		
		1er Monitoreo	2do Monitoreo	3er Monitoreo
Agua Superficial	pH, metales totales, sulfatos, temperatura, solidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, y cianuro wad.	6	4	4
Agua Subterránea		4	5	5

(*) Agua superficial: “el análisis del parámetro de cianuro wad no fue realizado en el tercer monitoreo debido a que, en el primer y segundo monitoreo sus resultados fueron menores al límite de cuantificación del método”.

Fuente: MINAM (2022). Reporte N° 00011-2022-OEFA/DEAM-STEC

Área de Estudio

La UP Cerro Verde está situada en los distritos de Uchumayo, La Joya, Yarabamba y Tiabaya, que forman parte de la provincia y la región de Arequipa. En cuanto a su ubicación hídrica, la mina se reparte en diez microcuencas: Del Ataque, Tinajones, Enlozada, Huayrondo, Siete Vueltas, Linga (alta), Cañón Roto, San José, Cerro Verde y La Gloria. Todas estas microcuencas, excepto Linga, pertenecen a la cuenca del Quilca Vítor Chili, mientras que Linga pertenece a la cuenca del río Tambo.

4.1.2. Resultados del monitoreo y análisis

A. Agua superficial

Los puntos que se monitorearon del agua en superficie que se estudiaron en la zona de impacto de la UP Cerro Verde, relacionados con el río Chili (QECV-02, ASU-01, M-22 y M-34), fueron

analizados en junio, agosto y octubre de 2022. Por otro lado, los puntos situados en el río Yarabamba (ASU-02 y ASU-03) solo se revisaron en junio de 2022.

Tabla 6. Resultados de los parámetros de campo de los puntos de monitoreo en el Río Chili comparados con los ECA para agua Categoría 3 (2015 y 2017)

Cuerpo de agua	Código	Río Chili	Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM)		Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3 (D.S. N° 004-2017-MINAM)												
		M-34	M-34	M-34	M-22	M-22	M-22	ASU-01	ASU-01	ASU-01	QECV-02	QECV-02	QECV-02	D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo	D2: Bebida de animales	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Fecha de muestreo	Unidades	14/06/2022	12/08/2022	15/10/2022	14/06/2022	12/08/2022	15/10/2022	14/06/2022	12/08/2022	15/10/2022	14/06/2022	12/08/2022	15/10/2022				
Hora de muestreo		15:30	14:00:00	11:45	14:10	13:10:00	10:55	12:35	12:00:00	09:55	10:50	10:45:00	09:00				
Informe de ensayo	Parámetro	IE-22-10085	IE-22-14062	IE-22-18300													
Resultado		Resultado															
Mediciones in situ																	
pH	Unidad de pH	7,23	7,27	8,16	7,82	7,61	8,03	7,7	7,35	7,91	7,65	7,32	7,79	6,5 a 8,5	6,5 a 8,4	6,5 a 8,5	6,5 a 8,4
Conductividad eléctrica	µS/cm	416	354	372	462	388	386	634	558	604	647	558	561	2500	5000	2500	5000
Oxígeno disuelto	mg/L	7,6	8,47	7,83	7,85	8,84	7,69	7,21	7,53	7,46	7,34	7,91	6,93	4	5	≥ 4	≥ 5
Temperatura	°C	14,8	15,3	19,6	15,1	15,7	17,8	18,2	15,1	15,3	14,8	16,1	14,4	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
Parámetros físico-químicos																	
Cianuro wad	mg/L	<0,0030	<0,0030	-	<0,0030	<0,0030	-	<0,0030	<0,0030	-	<0,0030	<0,0030	-	0,1	0,1	0,1	0,1
Sólidos totales suspendidos	mg/L	<5,0	5,8	<5,0	<5,0	5,7	<5,0	6,7	7,7	<5,0	5,8	7,6	<5,0	*	*	*	*
Sulfatos	mg/L	62,7	49,1	58	69	53,7	61,7	94,7	78,3	93,5	97,9	77,3	91,9	1000	1000	1000	1000
Metales totales																	
Aluminio total	mg/L	0,031	0,081	0,095	0,058	0,067	0,119	0,056	0,112	0,143	0,03	0,112	0,138	5	5	5	5
Antimonio total	mg/L	<0,002	<0,002	<0,0020	<0,002	<0,002	<0,0020	<0,002	<0,002	<0,0020	<0,002	<0,002	<0,0020	*	*	*	*
Arsénico total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,1	0,2	0,1	0,2
Bario total	mg/L	0,0347	0,0378	0,04073	0,0342	0,0353	0,04103	0,0361	0,0358	0,03966	0,0348	0,0385	0,04374	0,7	0,7	0,7	*
Berilio total	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,1	0,1	0,1	0,1
Bismuto total	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	*	*	*	*
Boro total	mg/L	0,6096	0,4429	0,5442	0,7024	0,5008	0,5938	0,883	0,6813	0,7491	0,8269	0,6705	0,8042	1	5	1	5
Cadmio total	mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,00020	<0,0002	<0,0002	<0,00020	<0,0002	<0,0002	<0,00020	<0,0002	<0,0002	<0,00020	0,01	0,05	0,01	0,05
Calcio total	mg/L	31,591	33,432	32,79	34,232	33,608	33,981	43,561	39,906	40,368	43,911	40,711	44,289	*	*	*	*
Cobalto total	mg/L	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	0,05	1	0,05	1
Cobre total	mg/L	<0,0002	<0,0002	0,0391	<0,0002	<0,0002	0,0434	0,0013	<0,0002	0,0098	0,0011	<0,0002	0,0124	0,2	0,5	0,2	0,5
Cromo total	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,1	1	0,1	1
Estaño total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	*	*	*	*
Estroncio total	mg/L	0,29731	0,25444	0,32155	0,32009	0,25942	0,32285	0,36932	0,3039	0,38232	0,36869	0,30622	0,41981	*	*	*	*
Fósforo total	mg/L	<0,006	<0,006	0,184	<0,006	<0,006	0,21	0,545	0,435	0,572	0,503	0,513	0,58	*	*	*	*
Hierro total	mg/L	0,072	0,024	0,079	0,099	0,079	0,071	0,098	0,047	0,135	0,082	0,074	0,136	5	*	5	*
Litio total	mg/L	0,03302	0,00909	0,05203	0,03471	0,00939	0,05511	0,04779	0,01713	0,06477	0,04586	0,02057	0,07027	2,5	2,5	2,5	2,5
Magnesio total	mg/L	12,7216	11,6289	11,8191	14,0229	12,0408	12,4619	17,3019	14,6136	16,2412	17,1425	15,0133	17,7793	*	250	*	250
Manganeso total	mg/L	0,02265	0,02101	0,01852	0,0262	0,01863	0,01979	0,02834	0,01883	0,02504	0,02395	0,02613	0,02316	0,2	0,2	0,2	0,2
Mercurio total	mg/L	<0,00010	<0,000100	<0,00010	<0,00010	<0,000100	<0,00010	<0,00010	<0,000100	<0,00010	<0,00010	<0,000100	<0,00010	0,001	0,01	0,001	0,01

Cuerpo de agua	Unidades	Río Chili	Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM)		Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3 (D.S. N° 004-2017-MINAM)												
Código		M-34	M-34	M-34	M-22	M-22	M-22	ASU-01	ASU-01	ASU-01	QECV-02	QECV-02	QECV-02				
Fecha de muestreo		14/06/2022	12/08/2022	15/10/2022	14/06/2022	12/08/2022	15/10/2022	14/06/2022	12/08/2022	15/10/2022	14/06/2022	12/08/2022	15/10/2022				
Hora de muestreo		15:30	14:00:00	11:45	14:10	13:10:00	10:55	12:35	12:00:00	09:55	10:50	10:45:00	09:00				
Informe de ensayo		IE-22-10085	IE-22-14062	IE-22-18300	D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo	D2: Bebida de animales	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales									
Parámetro		Resultado															
Molibdeno total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	*	*	*	*
Niquel total	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	0,2	1	0,2	1
Plata total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	*	*	*	*
Plomo total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,05	0,05	0,05	0,05
Potasio total	mg/L	6,72	5,543	6,471	6,531	5,919	6,666	9,833	7,631	9,975	9,269	8,025	10,254	*	*	*	*
Selenio total	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,02	0,05	0,02	0,05
Sodio total	mg/L	41,5216	32,9726	41,1876	45,846	34,9211	42,6687	68,1419	51,5676	66,3795	68,6529	52,8013	69,9689	*	*	*	*
Talio total	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	*	*	*	*
Titanio total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	*	*	*	*
Uranio total	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	*	*	*	*
Vanadio total	mg/L	<0,0003	<0,0003	0,0122	<0,0003	<0,0003	0,0129	<0,0003	<0,0003	0,0087	<0,0003	<0,0003	0,0091	*	*	*	*
Zinc total	mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0133	<0,0002	<0,0002	0,0031	2	24	2	24

Fuente: (MINAM, 2022). Reporte N° 00011-2022-OEFA/DEAM-STEC. / Laboratorio ANALYTICAL LABORATORY EIRL.

Pd: «<>»: “Por debajo del límite de cuantificación del método”

(--): “Parámetro no aplica para esta normativa”

Figura 1. Comparación de los Resultados de pH de las estaciones de monitoreo en el Río Chili.

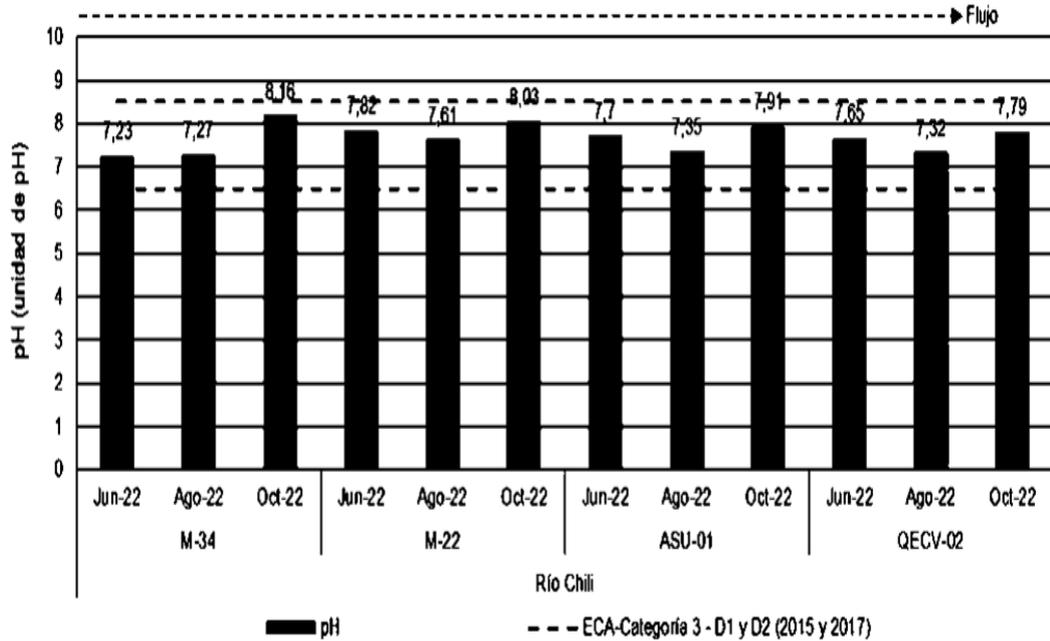


Figura 2. Análisis de los Resultados de Conductividad en los Puntos de Control del Río Chili.

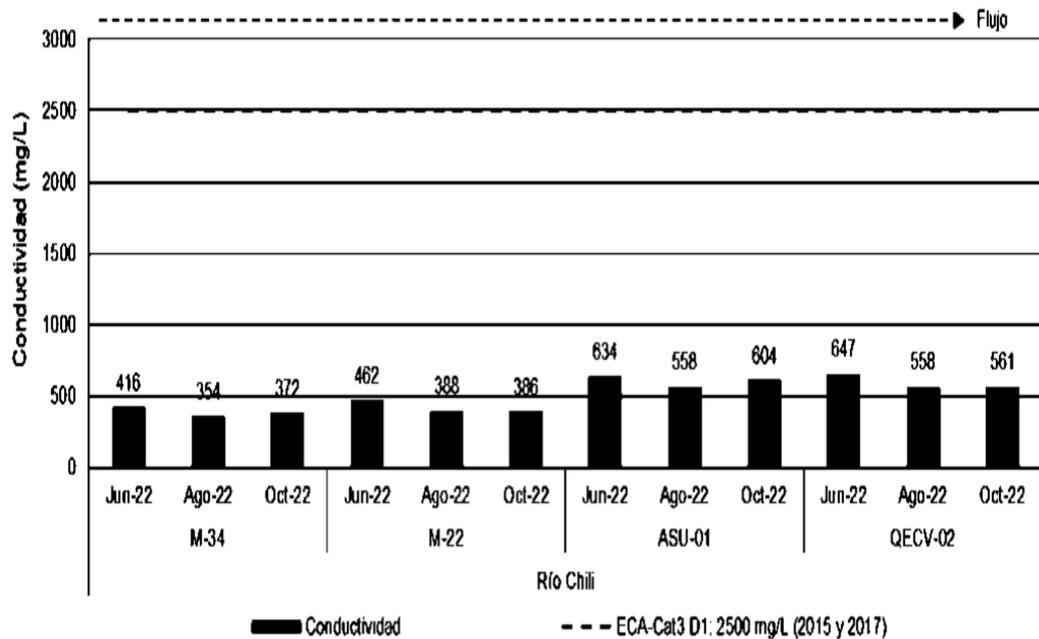


Figura 3. Análisis de los Resultados de Sulfatos en las estaciones de monitoreo del río Chili.

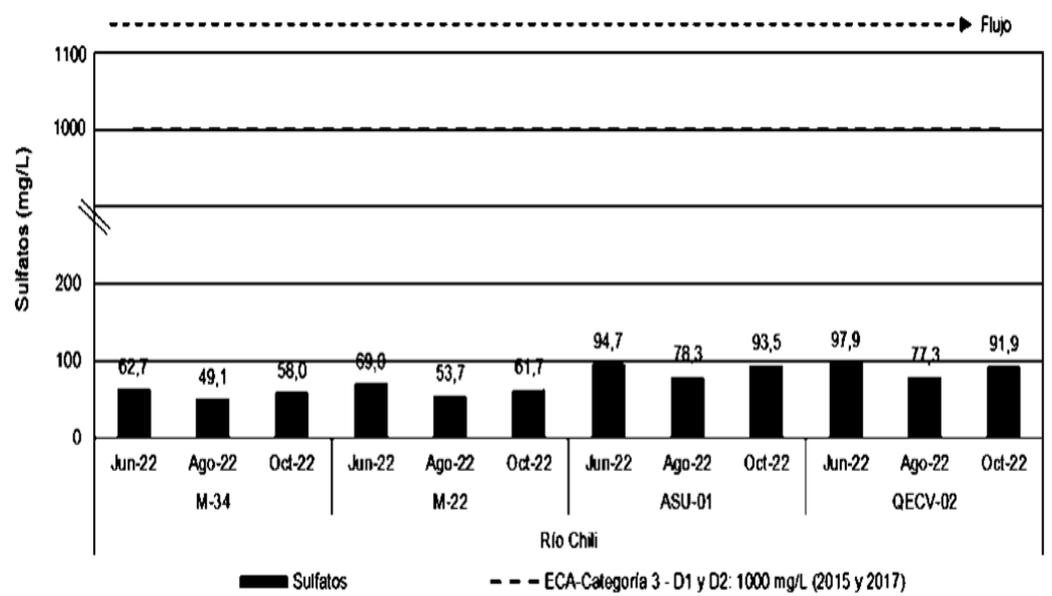


Figura 4. Análisis de los niveles de sulfatos en el punto QECV-02 (río Chili) de las evaluaciones efectuadas por el OEFA en comparación con los informes del administrado (SMCV)

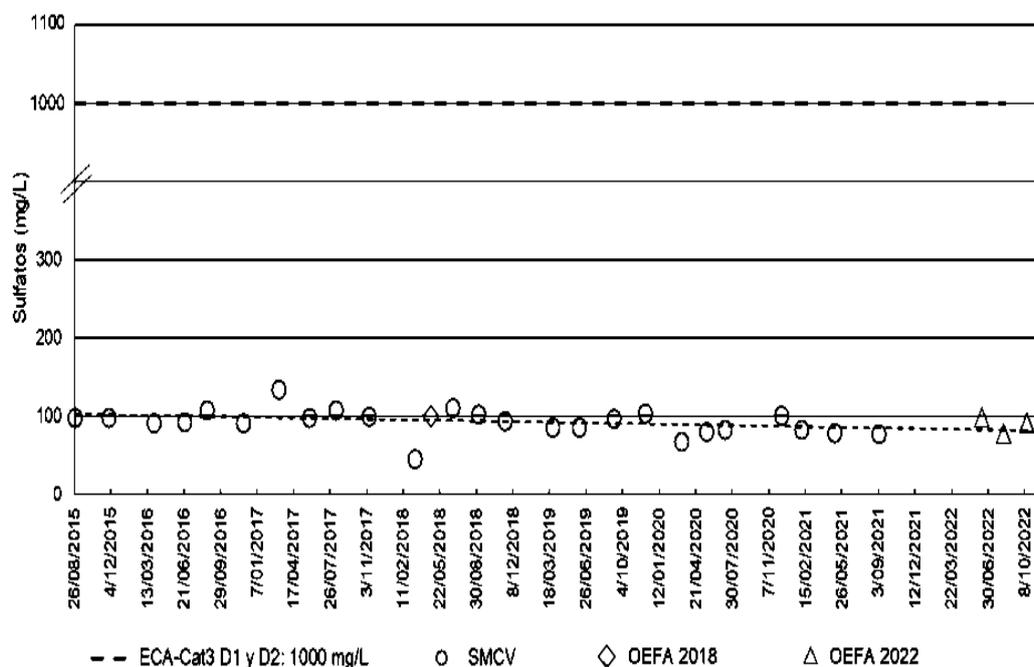


Figura 5. Comparación de los niveles de sulfatos en el punto M-22 (río Chili) entre las evaluaciones del OEFA y los informes del administrador (SMCV).

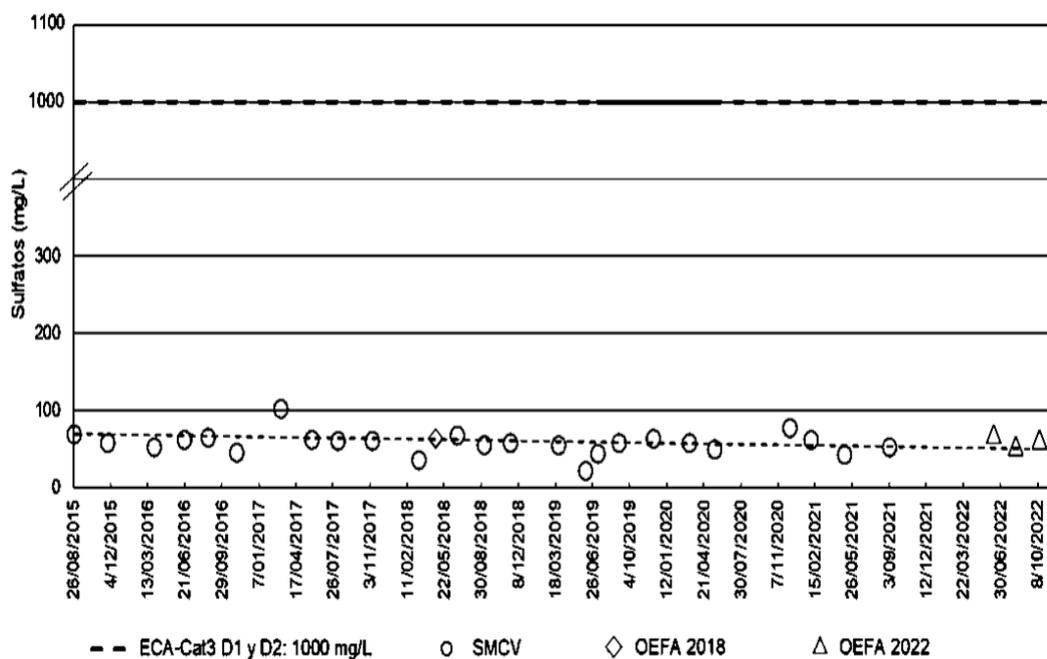


Figura 6. Comparativa de la concentración de sulfatos en el lugar M-34 (río Chili) según las mediciones efectuadas por el OEFA y los informes del administrador (SMCV).

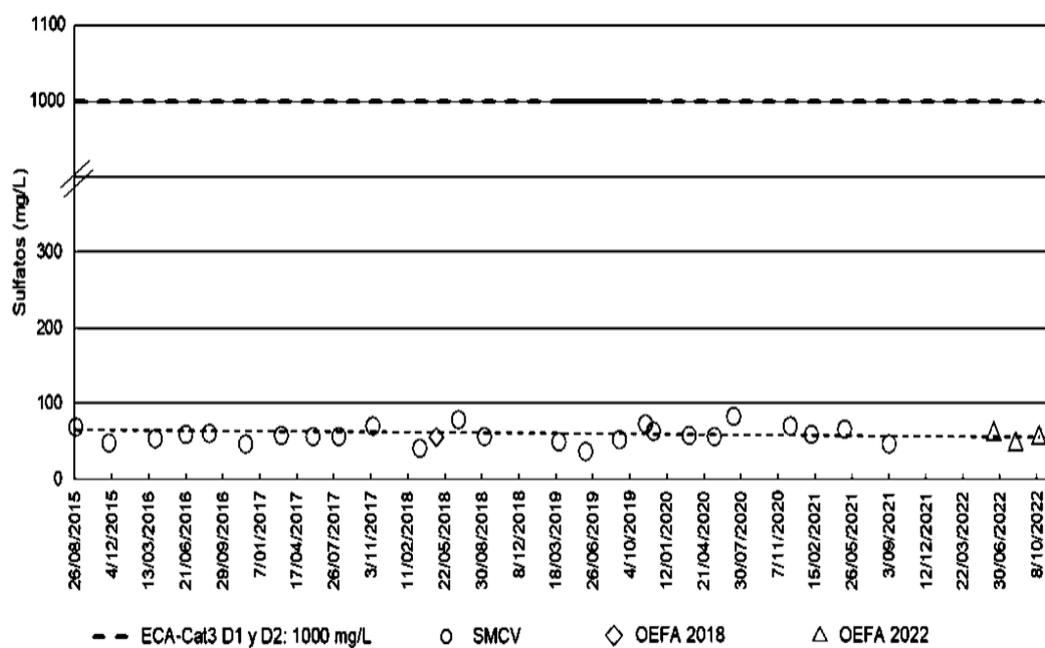


Tabla 7. Resultados de los factores de campo y el análisis de los puntos de control en el Río Yarabamba en comparación con los estándares de calidad de agua categoría 3 (2015 y 2017).

Cuerpo de agua	Unidades	Río Yarabamba		Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3 (D.S. N.º 015-2015-MINAM)		Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3 (D.S. N.º 004-2017-MINAM)	
		ASU-02	ASU-03				
Código		15/06/2022	15/06/2022				
Fecha de muestreo		09:40	11:10				
Hora de muestreo		IE-22-10085	IE-22-10085	D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo	D2: Bebida de animales	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Informe de ensayo		Parámetro	Resultado	Resultado			
<i>Mediciones in situ</i>							
pH	Unidad de pH	7,44	8,31	6,5 a 8,5	6,5 a 8,4	6,5 a 8,5	6,5 a 8,4
Conductividad eléctrica	µS/cm	3690	2500	2500	5000	2500	5000
Oxígeno disuelto	mg/L	7,05	11,07	4	5	≥ 4	≥ 5
Temperatura	°C	13,1	16,3	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
<i>Parámetros físico-químicos</i>							
Cianuro wad	mg/L	<0,0030	<0,0030	0,1	0,1	0,1	0,1
Sólidos totales suspendidos	mg/L	<5,0	<5,0	*	*	*	*
Sulfatos	mg/L	1010,40	640,7	1000	1000	1000	1000
<i>Metales totales</i>							
Aluminio total	mg/L	<0,003	<0,003	5	5	5	5
Antimonio total	mg/L	<0,002	<0,002	*	*	*	*
Arsénico total	mg/L	<0,0010	<0,0010	0,1	0,2	0,1	0,2
Bario total	mg/L	0,0462	0,079	0,7		0,7	*
Berilio total	mg/L	<0,0003	<0,0003	0,1	0,1	0,1	0,1
Bismuto total	mg/L	<0,010	<0,010	*	*	*	*
Boro total	mg/L	9,6902	6,9335	1	5	1	5
Cadmio total	mg/L	<0,0002	<0,0002	0,01	0,05	0,01	0,05
Calcio total	mg/L	280,621	204,54	*	*	*	*
Cobalto total	mg/L	<0,0020	<0,0020	0,05	1	0,05	1
Cobre total	mg/L	0,0015	0,0013	0,2	0,5	0,2	0,5
Cromo total	mg/L	<0,0003	<0,0003	0,1	1	0,1	1
Estaño total	mg/L	<0,0010	<0,0010	*	*	*	*
Estroncio total	mg/L	2,54071	1,94243	*	*	*	*
Fósforo total	mg/L	<0,006	<0,006	*	*	*	*
Hierro total	mg/L	0,086	0,023	5	*	5	*
Litio total	mg/L	0,0278	0,02915	2,5	2,5	2,5	2,5
Magnesio total	mg/L	164,257	115,144	*	250	*	250
Manganeso total	mg/L	0,31782	0,06657	0,2	0,2	0,2	0,2
Mercurio total	mg/L	<0,00010	<0,00010	0,001	0,01	0,001	0,01
Molibdeno total	mg/L	<0,0010	<0,0010	*	*	*	*
Níquel total	mg/L	<0,0004	<0,0004	0,2	1	0,2	1
Plata total	mg/L	<0,0010	<0,0010	*	*	*	*
Plomo total	mg/L	<0,0010	<0,0010	0,05	0,05	0,05	0,05
Potasio total	mg/L	27,315	25,043	*	*	*	*
Selenio total	mg/L	<0,002	<0,002	0,02	0,05	0,02	0,05
Sodio total	mg/L	362,648	245,337	*	*	*	*
Talio total	mg/L	<0,0004	<0,0004	*	*	*	*
Titanio total	mg/L	<0,0010	<0,0010	*	*	*	*
Uranio total	mg/L	<0,0003	<0,0003	*	*	*	*
Vanadio total	mg/L	<0,0003	<0,0003	*	*	*	*
Zinc total	mg/L	<0,0002	<0,0002	2	24	2	24

Fuente: ANALYTICAL LABORATORY EIRL.
 «<<»: Debajo LQ del método

(*): **Parámetro no aplica para esta normativa**

: **concentraciones identificadas fuera del rango dado o que superaron ECA agua categoría 3: subcategoría D1**

: **concentraciones identificadas fuera del rango dado o superó el ECA agua categoría 3: subcategorías D1 y D2.**

B. Agua Subterránea

Los diferentes puntos que se monitorearon el agua subterránea dentro de la zona de impacto de la unidad de producción Cerro Verde, fueron los piezómetros que tienen los códigos MACN-31, MA-41, MAS-36, MAS-52 y MAS-146. Los resultados de estas mediciones se compararon de manera referencial con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, que pertenecen a la categoría 3, los cuales fueron aprobados por el D. S. N. ° 004-2017-MINAM.

Tabla 8. Resultados de los parámetros de campo y los analizados por el laboratorio en los puntos de monitoreo de los piezómetros MACN-31 y MA-41, junto con una comparación con los ECA para agua de categoría 3 (2017).

Código	Unidades	MACN-31	MACN-31	MACN-31	MA-41	MA-41	MA-41	Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3 (D.S. N.º 004-2017-MINAM)	
Fecha de muestreo		15/06/2022	13/08/2022	13/10/2022	15/06/2022	13/08/2022	13/10/2022		
Hora de muestreo		14:05	10:25:00	11:50	15:40	12:25:00	13:25		
Informe de ensayo		IE-22-10082	IE-22-14060	IE-22-18289	IE-22-10082	IE-22-14060	IE-22-18289	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Parámetro		Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado		
<i>Mediciones in situ</i>									
pH	Unidad de pH	7,5	7,21	7,83	7,17	6,93	7,25	6,5 a 8,5	6,5 a 8,4
Oxígeno disuelto	mg/L	2,75	1,95	2,19	3,72	2,54	2,55	≥ 4	≥ 5
Conductividad eléctrica	µS/cm	941	972	948	2800	2730	2660	2500	5000
Temperatura	°C	22,7	23,7	23,9	20,8	21,9	23,5	Δ 3	Δ 3
<i>Parámetros físico-químicos</i>									
Cianuro wad		<0,0030	<0,0030	-	<0,0030	<0,0030	-	0,1	0,1
Sólidos suspendidos totales		<5,0	<5,0	-	<5,0	<5,0	-	*	*
Sulfatos	mg/L	279	298	307,7	1288,60	1365,20	1 360,90	1000	1000
<i>Metales totales</i>									
Aluminio total	mg/L	<0,003	<0,003	0,071	<0,003	<0,003	0,018	5	5
Antimonio total	mg/L	<0,002	<0,002	<0,0020	<0,002	<0,002	<0,0020	*	*
Arsénico total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,1	0,2
Bario total	mg/L	<0,0003	0,0129	0,01158	0,004	0,0235	0,0234	0,7	*
Berilio total	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,1	0,1
Bismuto total	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	*	*
Boro total	mg/L	1,217	1,1594	1,1975	0,9321	0,9548	0,9039	1	5
Cadmio total	mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,00020	<0,0002	<0,0002	<0,00020	0,01	0,05
Calcio total	mg/L	100,185	106,066	96,172	465,616	449,149	401,267	*	*
Cobalto total	mg/L	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	0,05	1
Cobre total	mg/L	<0,0002	<0,0002	0,0418	<0,0002	<0,0002	0,0319	0,2	0,5
Cromo total	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,1	1
Estaño total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	*	*
Estroncio total	mg/L	0,4509	0,50589	0,47825	3,9731	3,46561	3,5232	*	*

Fósforo total	mg/L	<0,006	<0,006	0,158	<0,006	<0,006	0,126	*	*
Hierro total	mg/L	0,041	0,029	0,125	<0,002	<0,002	0,028	5	*
Litio total	mg/L	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	0,0272	2,5	2,5
Magnesio total	mg/L	6,3446	7,4351	6,4531	91,5243	98,4304	84,5442	*	250
Manganeso total	mg/L	0,01919	0,02501	0,0492	0,06213	0,01318	0,0248	0,2	0,2
Mercurio total	mg/L	<0,00010	<0,000100	<0,00010	<0,00010	<0,000100	<0,00010	0,001	0,01
Molibdeno total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0136	0,0701	0,1326	*	*
Níquel total	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	0,2	1
Plata total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	*	*
Plomo total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,05	0,05
Potasio total	mg/L	2,062	3,663	3,27	2,929	4,808	4,388	*	*
Selenio total	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,02	0,05
Sodio total	mg/L	113,574	110,78	105,89	160,735	146,27	144,668	*	*
Talio total	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	*	*
Titanio total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	*	*
Uranio total	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	*	*
Vanadio total	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	*	*
Zinc total	mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0107	2	24

Fuente: ANALYTICAL LABORATORY EIRL.

<<>>: Debajo LQ del método

(*): Parámetro no aplica para esta normativa

■: concentraciones identificadas fuera del rango dado o que superaron ECA agua categoría 3: subcategoría D1

■: concentraciones identificadas fuera del rango dado o superó el ECA agua categoría 3: subcategorías D1 y D2.

Figura 7. Valores de la conductividad que fueron parecidos en las mediciones realizadas en junio, agosto y octubre del año 2022.

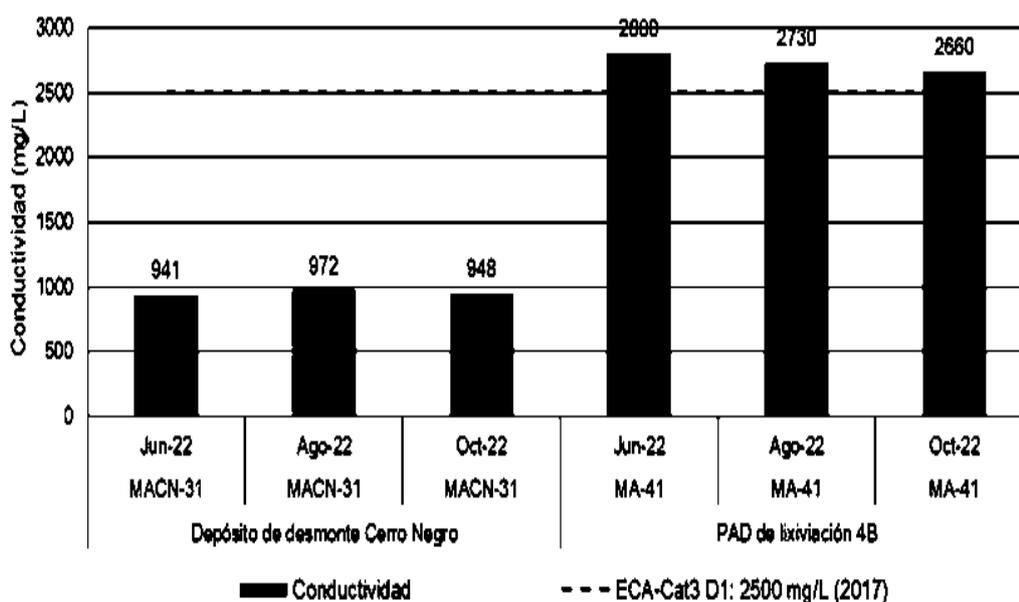


Figura 8. Valores de sulfatos que resultaron parecidos en las evaluaciones de junio, agosto y octubre de 2022.

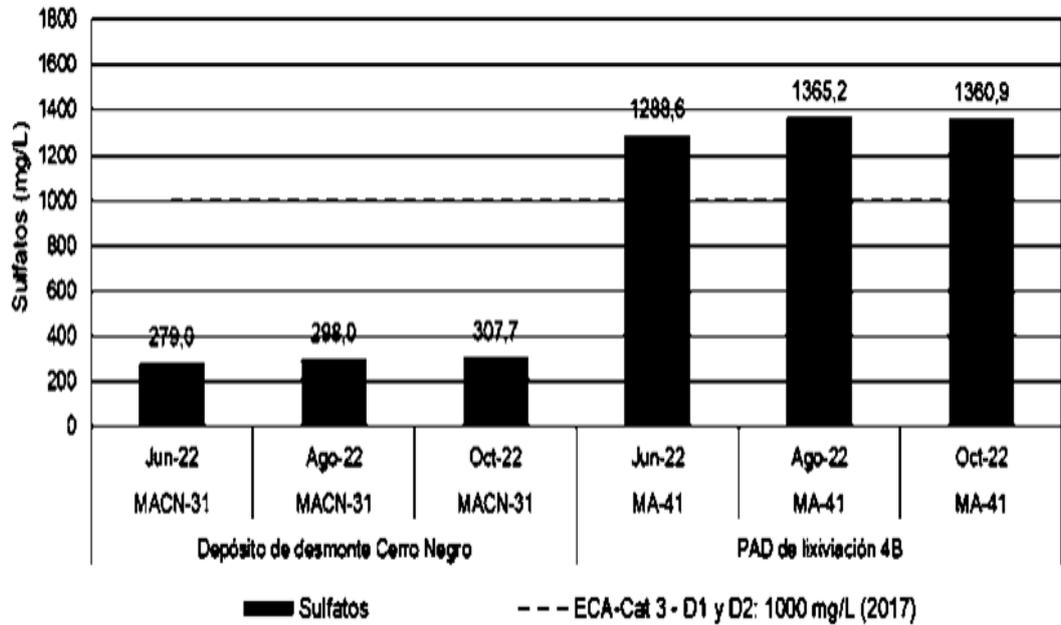


Figura 9. Niveles de boro total que mostraron similitudes en las mediciones realizadas en junio, agosto y octubre de 2022.

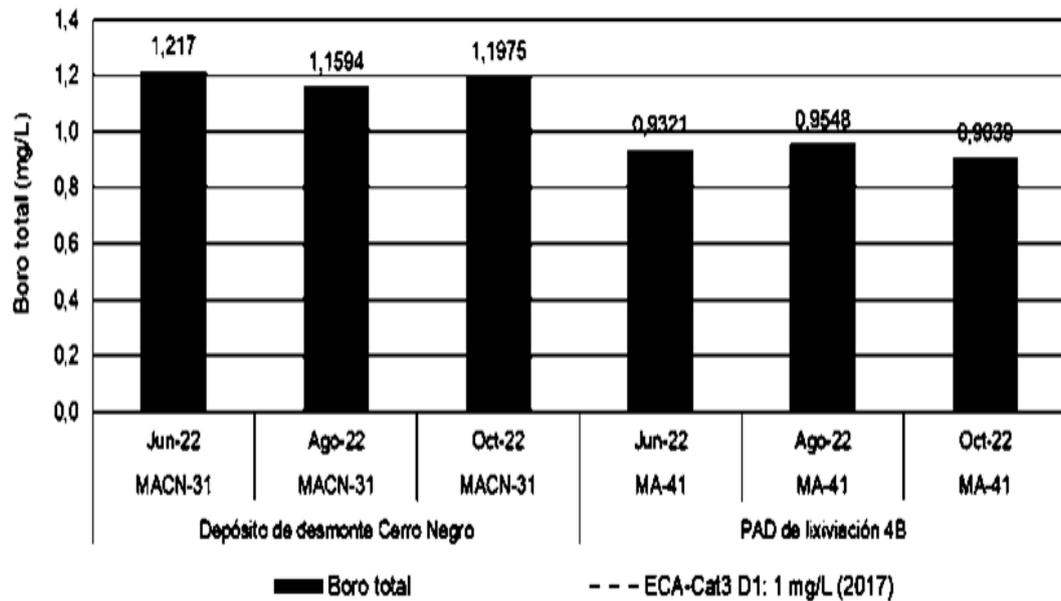


Figura 10. Comparación de los niveles de sulfatos en el punto MACN-31 entre las evaluaciones llevadas a cabo por el OEFA y los informes del administrado (SMCV).

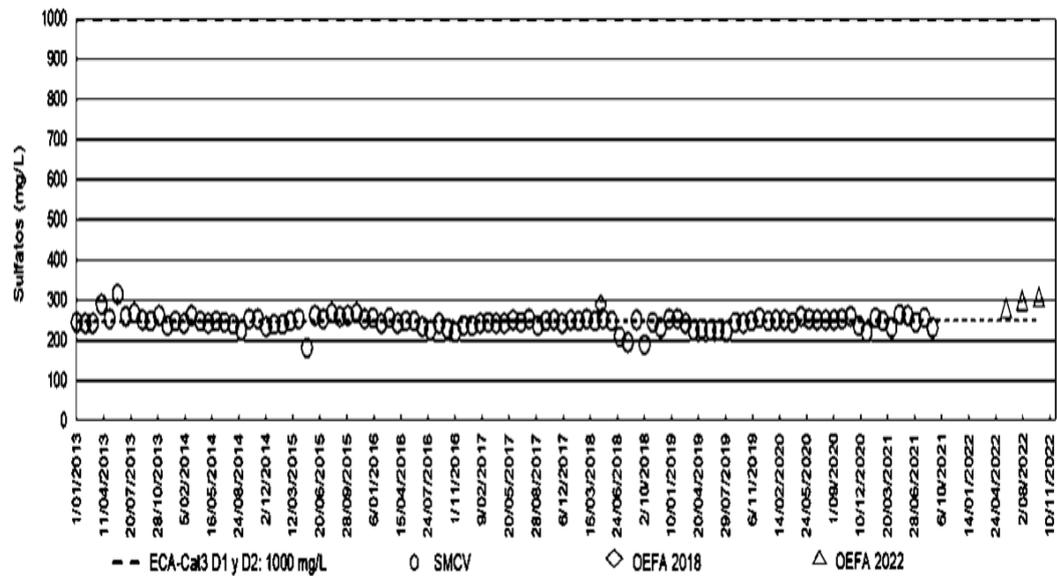


Figura 11. Análisis de la cantidad total de Boro en el punto MACN-31 de las mediciones hechas por el OEFA en comparación con los informes del ente responsable (SMCV).

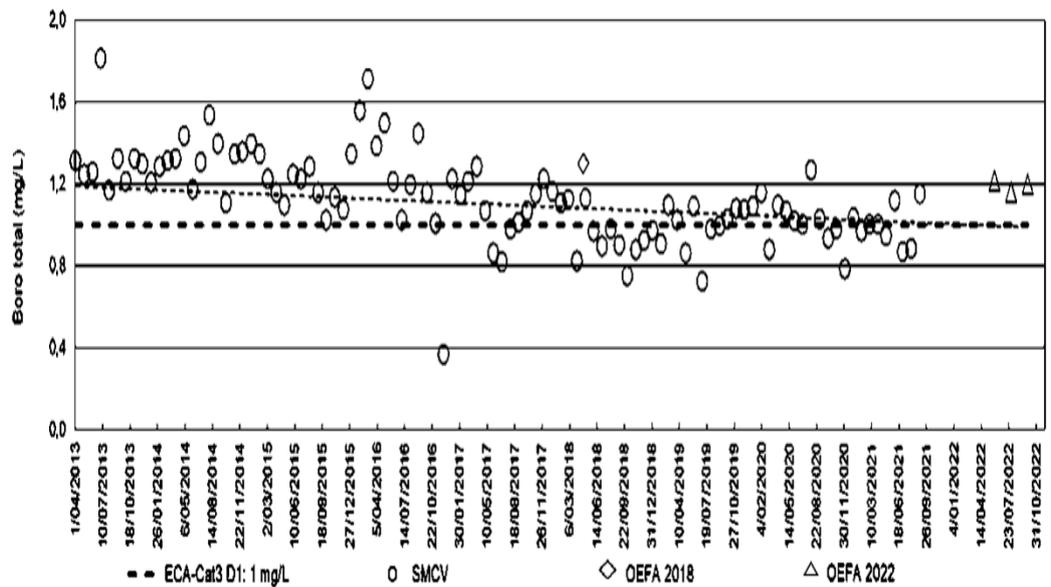


Figura 12. Análisis de los valores de Conductividad en el punto MA-41 de las evaluaciones efectuadas por el OEFA junto con los informes del administrado (SMCV).

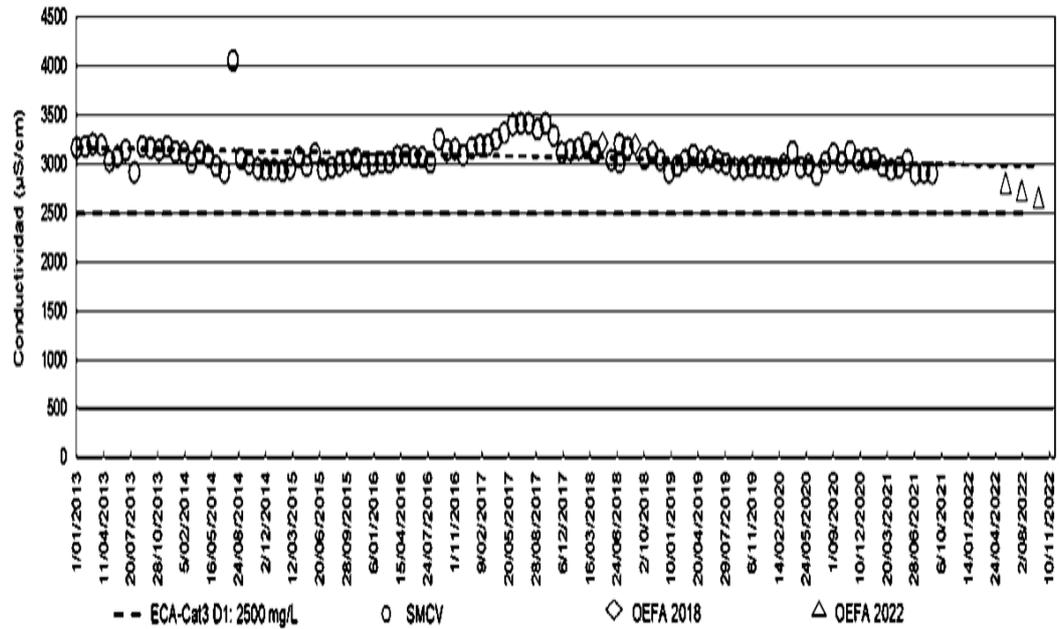


Figura 13. Análisis de los niveles de concentración de Sulfatos en el punto MA-41, comparando las evaluaciones efectuadas por el OEFA con los informes del administrador (SMCV).

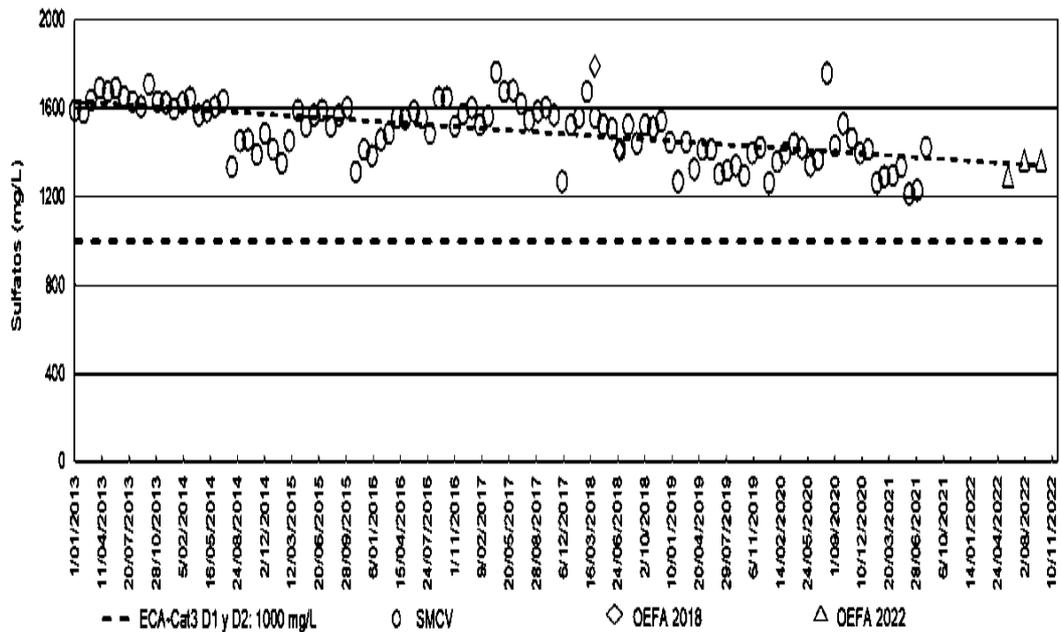


Figura 14. Comparación de los resultados de conductividad de las mediciones realizadas en junio, agosto y octubre de 2022 en los sitios de los piezómetros MACN-31 y MA-41.

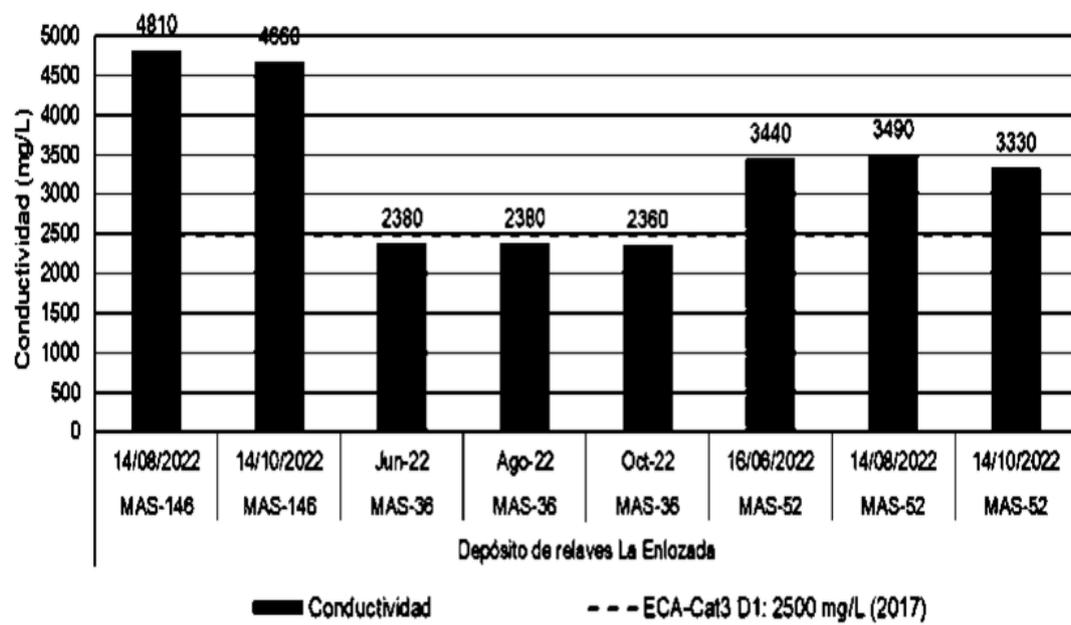


Figura 15. Análisis de los resultados de Sulfatos de las evaluaciones realizadas en junio, agosto y octubre de 2022 en los sitios de los piezómetros MACN-31 y MA-41.

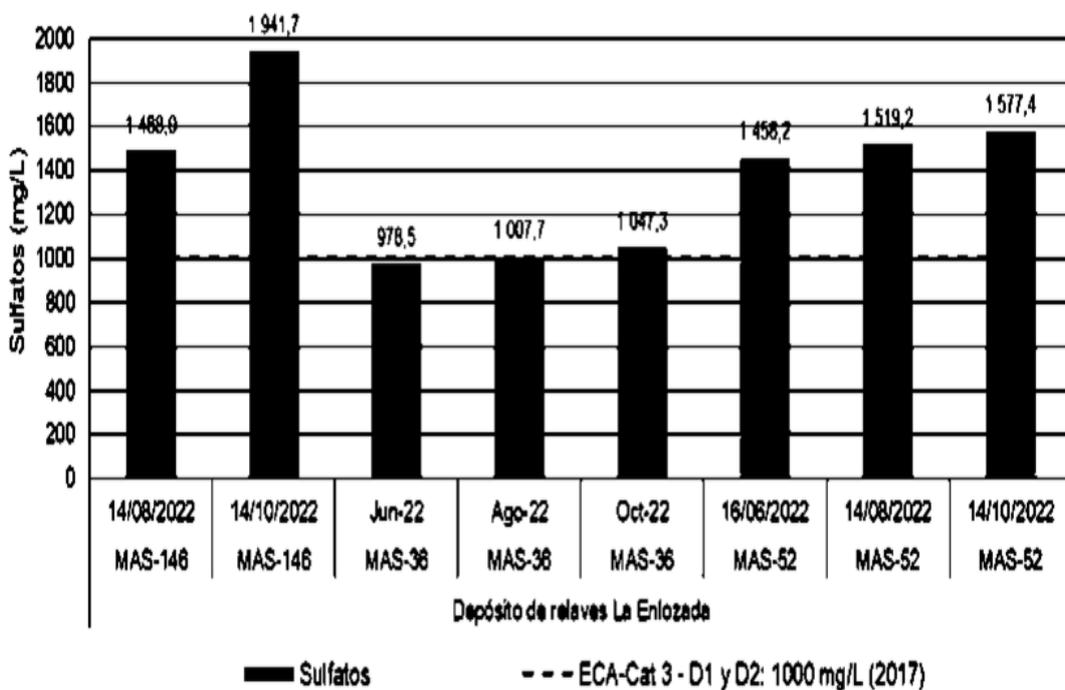


Figura 16. Comparación de los hallazgos del Boro Total de los seguimientos realizados en junio, agosto y octubre de 2022 en las ubicaciones de los piezómetros MACN-31 y MA-41.

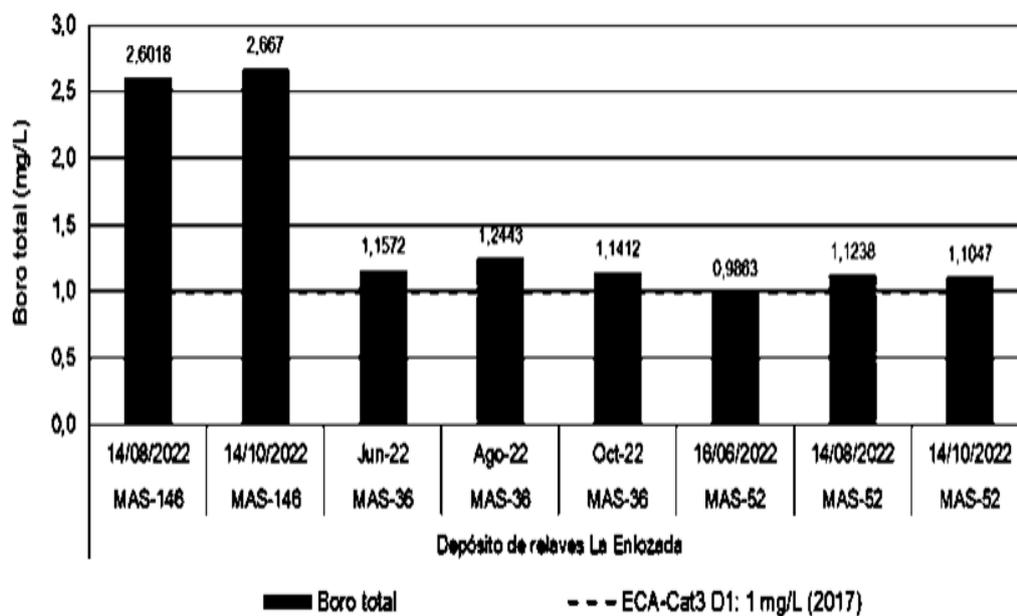


Tabla 9. Resultados de los parámetros medidos en el campo y los analizados en el laboratorio de los puntos de monitoreo de los piezómetros MAS-36, MAS-52 y MAS-146 en comparación con los estándares de calidad del agua categoría 3 (2017).

Código	Unidades	MAS-36	MAS-36	MAS-36	MAS-52	MAS-52	MAS-52	MAS-146	MAS-146	Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3 (D.S. N° 004-2017-MINAM)	
Fecha de muestreo		16/06/2022	13/08/2022	14/10/2022	16/06/2022	14/08/2022	14/10/2022	14/08/2022	14/10/2022	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Hora de muestreo		11:00	14:25	09:15	09:40	08:45:00	11:35	10:10	10:30		
Informe de ensayo		IE-22-10082	IE-22-14060	IE-22-18289	IE-22-10082	IE-22-14060	IE-22-18289	IE-22-14060	IE-22-18289		
Parámetro	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado		
<i>Mediciones in situ</i>											
pH	Unidad de pH	7,35	6,98	7,42	7,17	6,89	7,19	6,83	7,18	6,5 a 8,5	6,5 a 8,4
Conductividad eléctrica	µS/cm	2380	2380	2360	3440	3490	3330	4810	4660	2500	5000
Oxígeno disuelto	mg/L	7,03	7,39	6,83	6,21	5,91	5,13	1,5	1,84	≥ 4	≥ 5
Temperatura	°C	23	22,7	23,9	23,3	24	25,5	22,8	24,2	Δ 3	Δ 3
<i>Parámetros fisico-químicos</i>											
Cianuro wad	mg/L	<0,0030	<0,0030	-	<0,0030	<0,0030	-	<0,0030	-	0,1	0,1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	<5,0	<5,0	-	<5,0	<5,0	-	8,2	-	*	*
Sulfatos	mg/L	978,5	1007,70	1 047,30	1458,20	1519,20	1 577,40	1488	1 941,70	1000	1000
<i>Metales totales</i>											
Aluminio total	mg/L	<0,003	<0,003	0,063	<0,003	<0,003	0,035	0,061	0,221	5	5
Antimonio total	mg/L	<0,002	<0,002	<0,0020	<0,002	<0,002	<0,0020	0,055	<0,0020	*	*
Arsénico total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,1	0,2
Bario total	mg/L	<0,0003	0,0165	0,01212	0,0072	0,0228	0,02681	0,0131	0,01844	0,7	*
Berilio total	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,1	0,1
Bismuto total	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	*	*
Boro total	mg/L	1,1572	1,2443	1,1412	0,9863	1,1238	1,1047	2,6018	2,667	1	5
Cadmio total	mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,00020	<0,0002	<0,0002	<0,00020	<0,0002	<0,00020	0,01	0,05
Calcio total	mg/L	333,686	368,556	295,212	593,051	461,495	608,561	660,461	738,55	*	*
Cobalto total	mg/L	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	0,05	1
Cobre total	mg/L	<0,0002	<0,0002	0,0332	<0,0002	<0,0002	0,0353	<0,0002	0,0294	0,2	0,5
Cromo total	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,1	1
Estaño total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	*	*
Estroncio total	mg/L	1,4211	1,5754	1,32401	2,6598	1,66568	2,66102	3,188	4,45966	*	*
Fósforo total	mg/L	<0,006	<0,006	0,123	<0,006	<0,006	0,141	<0,006	0,101	*	*
Hierro total	mg/L	<0,002	<0,002	0,074	0,007	<0,002	0,07	<0,002	0,242	5	*
Litio total	mg/L	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	0,03547	2,5	2,5
Magnesio total	mg/L	64,8203	72,8857	58,6121	88,4439	78,4466	93,0709	96,3164	106,9442	*	250
Manganeso total	mg/L	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	0,01326	0,2	0,2
Mercurio total	mg/L	<0,00010	<0,000100	<0,00010	<0,00010	<0,000100	<0,00010	<0,000100	<0,00010	0,001	0,01
Molibdeno total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	*	*
Níquel total	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	0,2	1
Plata total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	*	*
Plomo total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,05	0,05
Potasio total	mg/L	16,232	20,367	17,798	23,002	21,196	26,437	32,248	38,234	*	*
Selenio total	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,02	0,05
Sodio total	mg/L	169,243	176,163	152,371	201,062	140,84	197,83	304,292	371,55	*	*
Talio total	mg/L	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	*	*
Titanio total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	*	*
Uranio total	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	*	*
Vanadio total	mg/L	<0,0003	0,0484	0,0559	<0,0003	0,0227	0,0378	<0,0003	0,0109	*	*
Zinc total	mg/L	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,005	<0,0002	0,0178	2	24

Fuente: ANALYTICAL LABORATORY EIRL.

«<>»: Debajo LQ del método

(*): Parámetro no aplica para esta normativa

 : concentraciones identificadas fuera del rango dado o que superaron ECA agua categoría 3: subcategoría D1

 : concentraciones identificadas fuera del rango dado o superó el ECA agua categoría 3: subcategorías D1 y D2.

Figura 17. Comparación de la cantidad de Sulfatos en el punto MAS-146 entre las evaluaciones del OEFA y los informes del operador (SMCV).

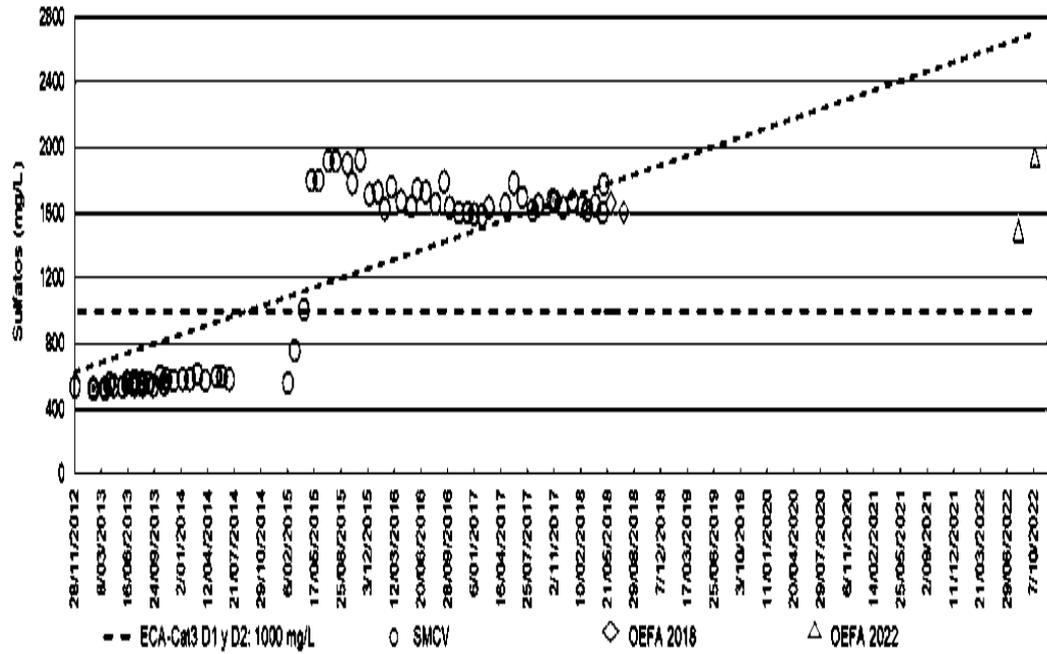


Figura 18. Comparación de la cantidad total de Boro en el punto MAS-146 entre las evaluaciones llevadas a cabo por el OEFA y los informes del administrador (SMCV).

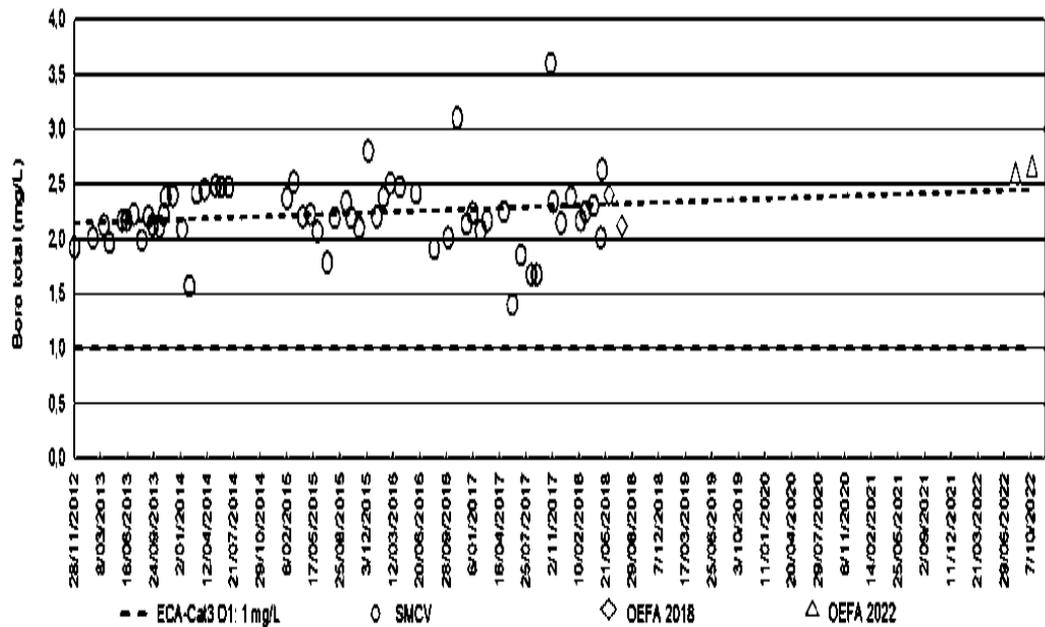


Figura 19. Análisis de la cantidad de Sulfatos en el punto MAS-36 de las mediciones llevadas a cabo por el OEFA en comparación con los informes del administrado (SMCV).

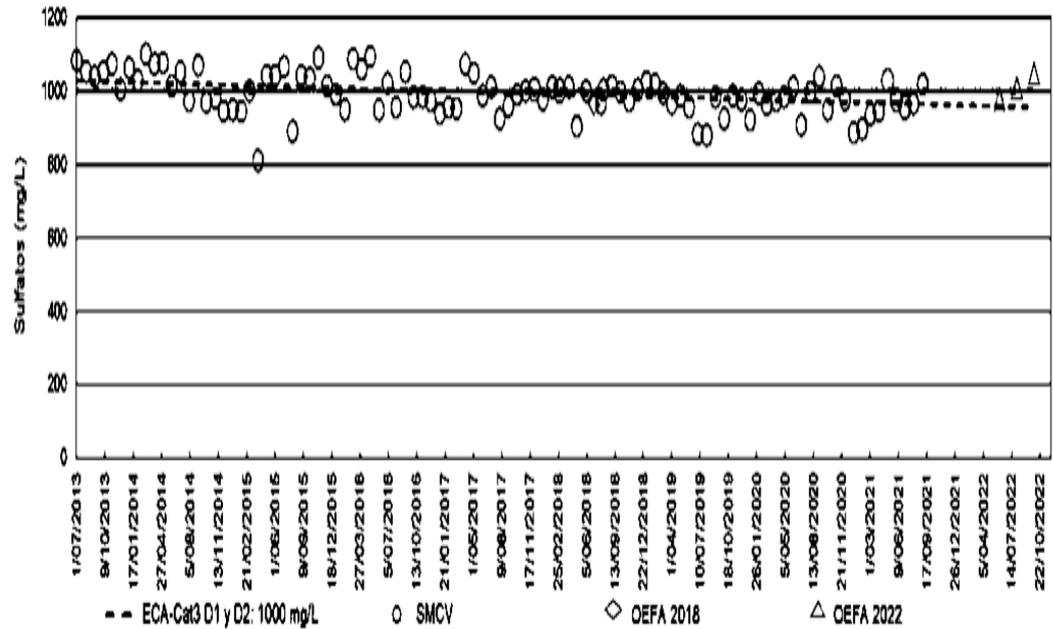


Figura 20. Análisis de los niveles totales de Boro en el punto MAS-36, comparando las evaluaciones hechas por el OEFA con los informes del administrador (SMCV).

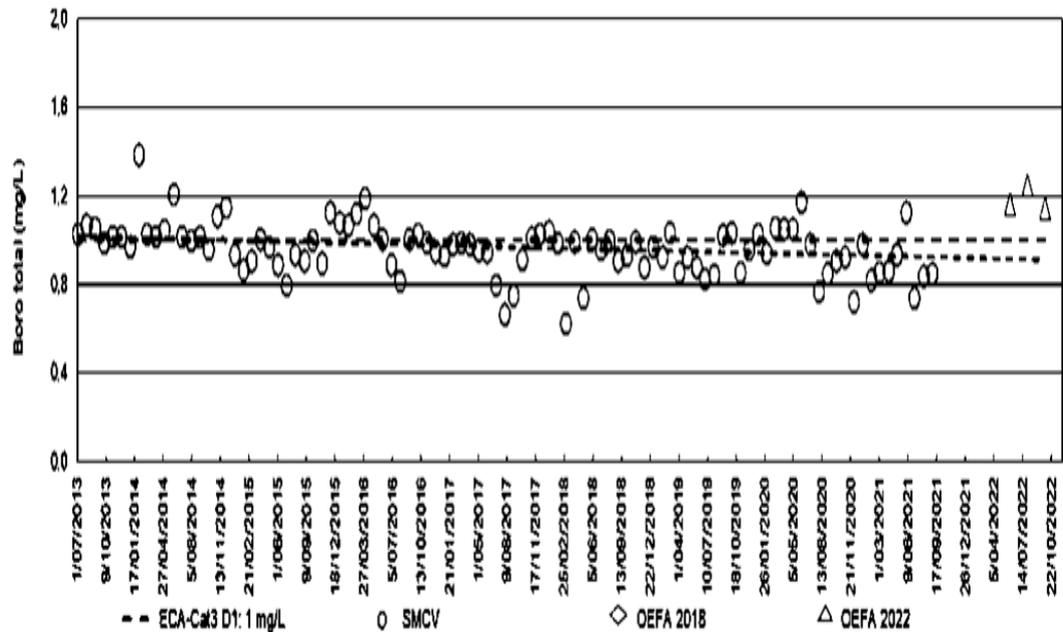


Figura 21. Comparativa de los valores de Conductividad en el punto MAS-52 entre las valoraciones efectuadas por el OEFA y los informes del administrador (SMCV).

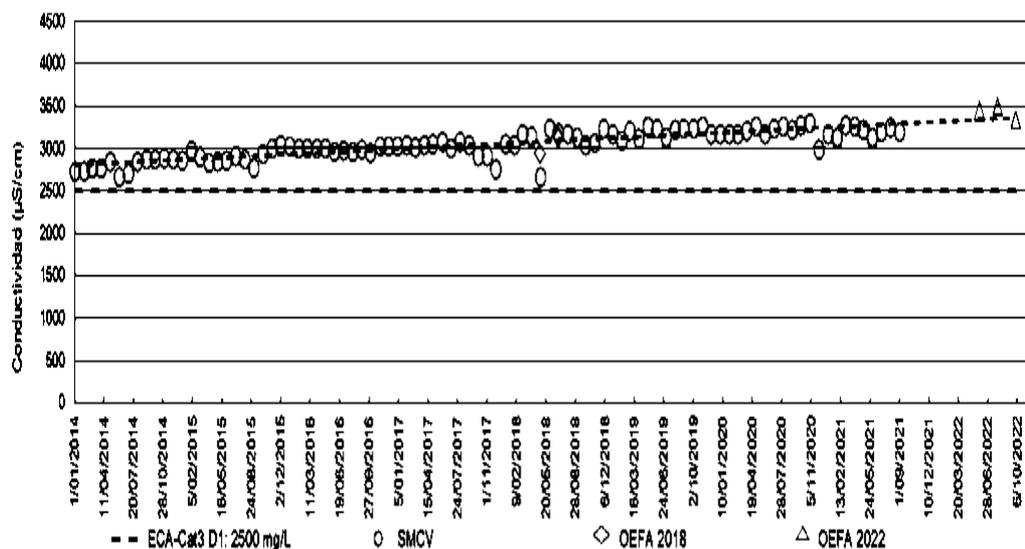
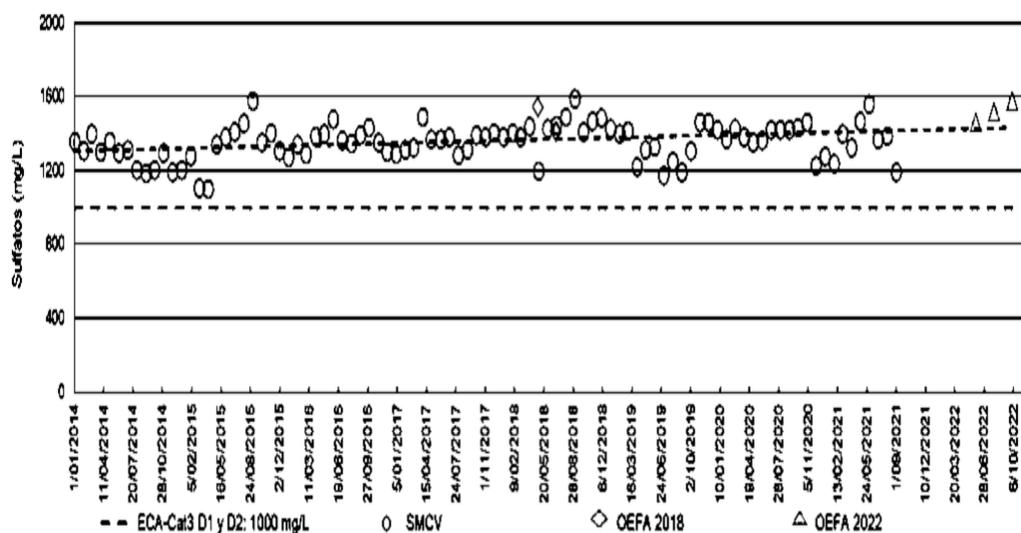


Figura 22. Análisis de los niveles de Sulfatos en el punto MAS-52 de las mediciones hechas por el OEFA en comparación con los informes del administrador (SMCV).



Los criterios que excedieron la norma de comparación de la evaluación del ambiente sobre el control del agua en ríos y aguas subterráneas en la zona de influencia de la unidad productiva Cerro Verde, se muestran en la tabla a seguir:

Tabla 10. Parámetros analizados y que excedieron la normativa ambiental

Matriz Ambiental	Puntos evaluados	Normativa que incumple	Parámetros que superan	Periodo de ejecución			Puntos de monitoreo en la que superan
				1er monitoreo	2do monitoreo	3er monitoreo	
AGUA SUBTERRÁNEA	5	ECA para agua, categoría 3: subcategorías D1 y D2 aprobado mediante RD N.º 004-2017-MINAM (referencial)	Conductividad	X	X	X	MA-41, MAS-52
				-	X	X	MAS-146
			Oxígeno Disuelto	X	X	X	MACN-31, MA-41,
				-	X	X	MAS-146
			Sulfatos	X	X	X	MA-41, MAS-52
				-	X	X	MAS-36, MAS-146
Boro Total	X	X	X	MACN-31, MAS-36			
	-	X	X	MAS-52, MAS-146			

Fuente: MINAM, 2022. Reporte N° 00011-2022-OEFA/DEAM-STECC. / Laboratorio ANALYTICAL LABORATORY EIRL.

4.2. Discusión de Resultados

4.2.1. Agua Superficial

Los datos de campo y los valores investigados en el laboratorio de los puntos de control examinados del río Chili durante junio, agosto y octubre de 2022 se muestran en la Tabla 6. Se observa que los resultados de los parámetros revisados se mantuvieron dentro del rango permitido y no sobrepasaron las “Normas de Calidad Ambiental para agua, categoría 3, subcategorías D1: riego de plantas y D2: agua para animales (2015 y 2017)”.

En los gráficos 1, 2 y 3 se presentan los resultados de pH, conductividad y sulfatos de las áreas donde se realiza el monitoreo del río Chili. En cuanto a los niveles de pH, estos variaron entre 7,23 y 8,03, siendo el punto M-22 el que mostró el nivel más elevado en agosto de 2022, mientras que el nivel más bajo se observó en el punto M-34 en junio de 2022. En relación con la conductividad, los valores oscilaron entre 354 y 647 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con el valor más bajo en el punto M-22 en agosto de 2022 y el más alto en el punto QECV-02 en junio de 2022. Asimismo, las concentraciones de sulfatos se situaron entre 49,1 y 97,9, destacando que el valor mínimo se detectó en el punto M-34 en agosto de 2022, y el máximo en el punto QECV-02 en junio de 2022.

En los Gráficos 4, 5 y 6 se muestra los resultados de la concentración de sulfatos de los puntos QEVC-01, M-22 y M-34 respectivamente, ubicados en el río Chili, de los monitoreos de junio, agosto y octubre de 2022 (EAS 2022) comparados con los resultados de la evaluación ambiental de causalidad del 2018(3); línea base y los informes de monitoreo trimestrales(4) reportados por Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. (en adelante SMCV); observándose que las concentraciones de este parámetro en todos los puntos de monitoreo del río Chili,

se mantienen similares entre el 2015 y 2022, y no superan el estándar de comparación, tanto en lo reportado por el SMCV como en las evaluaciones realizadas por el OEFA. El comportamiento que se mencionó antes en los puntos monitoreados del río Chili también lo muestran los otros parámetros que se analizaron, tanto los de campo como los de laboratorio.

(3) Informe N.º 0003-2019-OEFA/DEAM-STECS «Evaluación ambiental en el área de influencia de la unidad de producción Cerro Verde de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. - 2018».

(4) «Octavo Informe Técnico Sustentatorio de la Modificación de Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde» aprobado el 27 de setiembre de 2022 con Resolución Directoral N° 00144-2022-ENACE-PE/DEAR.

Por otro lado, en la Tabla 7 se muestran los datos recogidos en el río Yarabamba, tanto los obtenidos en el campo como los analizados en el laboratorio. En este lugar, se puede observar que el punto ASU-02, situado en el río Yarabamba, después de su conexión con la quebrada Siete Vueltas, mostró niveles de conductividad que superaron los estándares de calidad ambiental establecidos para el agua, en la categoría 3, subcategoría D1: destinada al riego de plantas (2015 y 2017). Asimismo, las concentraciones de sulfatos y boro fueron superiores a los ECA para agua correspondiente a la misma categoría 3, subcategorías D1: para riego de plantas y D2: para la bebida de animales (2015 y 2017). Por otro lado, en el punto de monitoreo ASU-03, que también se encuentra en el río, aunque antes de la confluencia con la quebrada Siete Vueltas, se registraron niveles de boro que superaron los ECA para agua en la categoría 3,

subcategorías D1: para riego de plantas y D2: para el consumo de animales (2015 y 2017).

Es útil que se destaque que a través del Informe N.º 0003-2019-OEFA/DEAM-STECC “Evaluación ambiental en el área de influencia de la unidad de producción Cerro Verde de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. – 2018”, no se contempló la evaluación de puntos de monitoreo en el río Yarabamba; sin embargo, se realizó la evaluación de un punto en el río Mollebaya (AS-09), que tiene como tributario al río Yarabamba; el cual presentó valores de Conductividad y concentraciones de Boro que superaron los ECA para agua categoría 3, subcategorías D1: riego de vegetales y D2: bebida de animales (2015 y 2017), que se debe principalmente a que, en zonas aledañas a este cuerpo de agua, afloran manantiales y se encuentran pozos con aguas de tipo cloruradas sódicas y cálcicas, y con altas concentraciones de boro, procedentes de la interacción de rocas volcánicas (flujos de lava) agua (Sulca, 2012; INGEMMET, 2018).

Por otro lado, es importante mencionar que los hallazgos de las verificaciones de calidad del muestreo, que abarcan el blando viajero, el blanco de campo, el blanco de equipo y el duplicado de las valoraciones de junio, agosto y octubre de 2022, están incluidos en los documentos adicionales.

4.2.2. Agua Subterránea

Los sitios en los que se detectó el agua subterránea próximos a la zona de actividad de Cerro Verde, fueron los piezómetros identificados con los códigos MACN-31, MA-41, MAS-36, MAS-52 y MAS-146. Los datos recolectados se confrontaron con los parámetros de calidad ambiental para el agua, en la categoría 3, que fueron validados por el D. S. N.º 004-2017-MINAM.

Con el fin de analizar de manera más efectiva los resultados, los puntos de monitoreo fueron divididos en dos secciones: la primera comprende los piezómetros MACN-31 y MA 41, ubicados en la zona inferior del vertedero de desmonte del tajo Cerro Negro, y el PAD de lixiviación que abarca los piezómetros MAS-36, MAS-52 y MAS-146, situados en la parte baja del depósito de relaves Enlozada.

Con respecto a la primera sección, concerniente a los **piezómetros MACN-31 y MA-41**, su ubicación se presenta en anexos; mientras que, los parámetros de campo y los parámetros analizados en laboratorio de los monitoreos realizados en junio, agosto y octubre se presentan en la Tabla 8, donde se observó que las concentraciones de oxígeno disuelto de las aguas subterráneas de los piezómetros evaluados presentaron condiciones de baja oxigenación, resultados que en acuíferos no resultan atípicas por la baja oxigenación de las aguas subterráneas (Custodio, 1996).

Por otro lado, es importante resaltar que los hallazgos de las comprobaciones de calidad del muestreo, como el blanco viajero, el blanco de campo, el blanco de equipo y las réplicas de las evaluaciones efectuadas en junio, agosto y octubre de 2022, están disponibles en los anexos.

Mientras que en el piezómetro MA-41, ubicado en la parte baja del PAD de lixiviación, los índices de conductividad superaron los límites establecidos para agua de categoría 3, subcategoría D1: riego de cultivos (en adelante límites para agua Cat3: D1); y las cantidades de sulfatos también sobrepasaron los límites para agua de categoría 3, subcategorías D1: riego de cultivos y D2: agua para animales (en adelante límites para agua Cat3, D1 y D2) en las tres mediciones llevadas a cabo (ver Tabla 8). De manera análoga, como se puede observar en los gráficos

7, 8 y 9, los niveles de conductividad, sulfitos y boro en el piezómetro MA-41 fueron similares en los monitoreos de junio, agosto y octubre de 2022.

En los gráficos 10 y 11, se muestra los resultados de la concentración de sulfatos y boro total respectivamente, en el piezómetro MACN-31 de los monitoreos de junio, agosto y octubre de 2022 (OEFA 2022), comparados con los resultados de la evaluación ambiental de causalidad del 2018(5) (OEFA 2018); línea base y los informes de monitoreo trimestrales(6) reportados por Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. (SMCV); observándose que las concentraciones de estos parámetros son similares (2013 al 2022).

Asimismo, las concentraciones de boro superan los ECA para agua Cat3, D1 (2017) en la mayoría de los monitoreos realizados, el cual proviene de la interacción del agua subterránea con la roca volcánica(5)

(5) Informe N.º 0003-2019-OEFA/DEAM-STEAC «Evaluación ambiental en el área de influencia de la unidad de producción Cerro Verde de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. - 2018».

(6) «Octavo Informe Técnico Sustentatorio de la Modificación de Estudio de Impacto Ambiental y Social de la Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde» aprobado el 27 de setiembre de 2022 con Resolución Directoral N° 00144-2022-ENACE-PE/DEAR

Con respecto al piezómetro **MA-41**, en el gráfico 12 se muestran la comparación histórica de sus valores de conductividad, los cuales se mantienen similares y superan los ECA para agua Cat3, D1 (2017) tanto en la data reportada por SMCV como en las evaluaciones realizadas por OEFA (2018 y 2022). Además, en el gráfico 13, se presenta una comparación histórica de la concentración de sulfatos, donde es observado que su concentración excede el

límite del ECA agua Cat3, D1 y D2 (2017) en cada análisis llevado a cabo (2013 al 2022). Aquí se puede observar una ligera reducción del sulfato en el tiempo (2013 al 2022).

El piezómetro MAS-52 muestra la concentración de boro y la conductividad que excedieron el ECA agua Cat3: D1 (2017) que fueron monitoreados en los tres periodos, excepto para el boro del monitoreo de junio. Asimismo, el contenido de sulfato que se monitoreo en los tres periodos excedió el ECA agua Cat3: D1 y D2 (2017). Los piezómetros MAS-146 y MAS-36, mostraron que los valores de conductividad (gráfico 14), sulfatos (gráfico 15) y boro (gráfico 16), en el piezómetro MAS-52, se observaron similitudes en los tres monitoreos.

Con respecto a la segunda sección, concerniente a los piezómetros MAS-146, MAS-36 y MAS-52, ubicados en la parte baja del depósito de relaves Enlozada, su ubicación se presenta en anexos; mientras que, los parámetros de campo y los parámetros analizados en laboratorio de los monitoreos realizados en junio, agosto y octubre se presentan en la Tabla 9, donde se observó que las concentraciones de oxígeno disuelto de las aguas subterráneas del piezómetro MAS-146, evaluado en agosto y octubre de 2022, presentaron condiciones de baja oxigenación, resultados que en acuíferos no resultan atípicas por la baja oxigenación de las aguas subterráneas (Custodio, 1996). Además, este piezómetro evidenció niveles de boro y un valor de conductividad que superaron el ECA agua Cat3: D1 (2017); al mismo tiempo, la cantidad de sulfatos también sobrepasó el ECA agua Cat3: D1 y D2 (2017). De manera similar, como se observa en los gráficos 17, 18 y 19, la concentración de boro, sulfatos y la conductividad del

piezómetro MAS-146 mostraron semejanzas en las mediciones realizadas en agosto y octubre de 2022.

La concentración de sulfato monitoreado en agosto y octubre del piezómetro **MAS-36**, que se localiza abajo del depósito de relaves Enlozada excedió el ECA agua Cat3: D1 y D2 (2017); similarmente el boro monitoreado en los tres periodos (junio, agosto y octubre de 2022) pasaron el límite ECA agua Cat3: D1 (2017) (Tabla 9). Según la comparación de los valores de conductividad, sulfatos y boro, mostrados en las Figuras 14, 15 y 16 respectivamente, en el piezómetro MAS 36, se observan similitudes en las tres mediciones.

En la Tabla 9, el piezómetro MAS-52 revela que en las tres mediciones realizadas, la conductividad superó el ECA agua Cat3: D1 (2017), mientras que en la evaluación de junio el boro no sobrepasó ese límite. Por otro lado, los sulfatos mostraron niveles que excedieron los límites ECA agua Cat3: D1 y D2 (2017) en todas las mediciones. Asimismo, se halló que en los piezómetros MAS-146 y MAS-36, los valores de conductividad, sulfatos y boro, ilustrados en las Figuras 14, 15 y 16 respectivamente, fueron comparables a los del piezómetro MAS-52 en las tres mediciones realizadas.

En función del piezómetro **MAS-146**, el gráfico 17 presenta la comparación histórica del contenido de sulfato, donde se logra observar un aumento significativo sobre todo en el 2015, y que se mantuvo así hasta el año 2022. De manera similar, el gráfico 18 presenta la comparación histórica del contenido de Boro, donde se observan valores que presentan similitud y otros que excedieron el ECA agua Cat3, D1 y D2 (2017) en todos los análisis realizados (2013 al 2022).

Es fundamental aclarar que el piezómetro MAS-146, situado en el estribo izquierdo del depósito de relaves Enlozada, se encuentra en una área donde la roca está fracturada (aproximadamente a 20 metros de profundidad), que exhibe alta porosidad y que ha sido influenciada por la falla geológica Jenks. Esto propicia que algunas corrientes se vuelvan predominantes para la migración de filtraciones y aguas subterráneas, tal como se previó en el modelo de transporte de solutos por SMCV en el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de Expansión de la Unidad de Producción Cerro Verde (2012), cuando se lograron instalar pozos de rebombeo como una estrategia de mitigación (7).

(7) Informe N.º 0003-2019-OEFA/DEAM-STEC «Evaluación ambiental en el área de influencia de la unidad de producción Cerro Verde de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. - 2018».

Haciendo la comparación histórica del **piezómetro MAS-36**, y las concentraciones de sulfato (gráfico 19) y Boro (gráfico 20), se observa un comportamiento similar para los dos parámetros, lo que revela que existen monitoreos que superaron los límites del estándar mientras otros cumplieron con estos. Sin embargo, es vital poner en claro que los dos parámetros presentan concentraciones parecidas a aquellos valores del estándar.

Por último, en el **piezómetro MAS-52** las comparaciones históricas del contenido de sulfatos y conductividad son mostrados en el gráfico 21 y 22, respectivamente, donde se nota que los dos parámetros excedieron a los estándares comparados, y que presentaron un ligero incremento en el monitoreo de los tres meses, comparado a lo que reportó el SMCV en el monitoreo hecho del 2014 al 2021.

CONCLUSIONES

I. Agua Superficial

- Todos los indicadores evaluados (junio, agosto y octubre de 2022) en los distintos puntos de agua superficial ubicados en el río Chili (QECV-02, ASU-01, M-22 y M-34) mostraron cifras dentro de lo normal y no superaron los límites de ECA agua, categoría 3, “subcategorías D1: riego de cultivos D2: suministro de agua para animales (2015 y 2017)”. Además, observando los datos históricos (2015 – 2022), fue corroborado concentraciones similares de metales y sulfatos.
- En el río Yarabamba, las cantidades de boro en los puntos ASU-02 y ASU-03, mientras que los sulfatos en ASU-02 superaron los límites establecidos por la ECA agua, categoría 3: "riego de vegetales y bebida de animales (2015 y 2017)". Asimismo, en el punto ASU-02, la conductividad también sobrepasó los límites de la ECA agua, categoría 3, subcategoría D1 (2015 y 2017). Es importante señalar que en el Informe N. ° 0003-2019-OEFA/DEAMSTEC "Evaluación ambiental en el área de influencia de la unidad de producción Cerro Verde de Sociedad Minera Cerro Verde S. A. A. – 2018", no se ha tenido en cuenta la evaluación de puntos de monitoreo dentro del río Yarabamba; en cambio, se analizó un solo punto en el río Mollebaya (AS-09), que recibe agua del río Yarabamba, y que presentó concentraciones de boro que superaron los límites de la ECA agua categoría 3 (2015 y 2017), atribuyendo sus altos niveles a las interacciones entre las rocas volcánicas (flujos de lava) y el agua.

II. Agua Subterránea

- El piezómetro MACN-31, que fue monitoreado tres veces en junio, agosto y octubre, se ubica en la parte inferior del depósito de desmonte de la mina Cerro Negro. Este piezómetro mostró que la cantidad de boro excedió el ECA agua, categoría 3, subcategoría D1: "riego de vegetales (2017)", utilizando comparaciones de referencia. Al observar los datos históricos desde 2013 hasta 2022 sobre las concentraciones de sulfatos y metales, se encontraron valores similares en comparación con los resultados administrados y los datos proporcionados por el OEFA.
- En el piezómetro MA-41, situado debajo del PAD de lixiviación, tras realizar tres mediciones, se detectó que la conductividad y los niveles de sulfatos sobrepasaron el ECA de agua, categoría 3, subcategoría D1: "riego de vegetales (2017)", así como la categoría 3, subcategorías D1: "riego de vegetales" y D2: "agua para animales (2017)". Analizando los datos históricos desde 2013 hasta 2022, se notaron similitudes en los valores de conductividad, con una ligera tendencia a la disminución en la concentración de sulfatos.
- El piezómetro MAS-146, ubicado debajo del depósito de relaves Enlozada y analizado en agosto y octubre de 2022, mostró que tanto la conductividad como el boro superaron el ECA, categoría 3: D1: "riego de vegetales (2017); así, también los sulfatos excedieron el ECA, categoría 3, subcategorías D1: "riego de vegetales y D2: Bebida de animales (2017)". Considerando los datos históricos del sulfato, se logró observar un aumento significativo en el 2015, valores que estuvieron constantes hasta el 2022, además, el registro histórico del Boro presentó valores similares en todo el periodo evaluado de 2013 - 2022.

- El piezómetro MAS-36, que está debajo del depósito de relaves Enlozada, reveló presentó concentraciones de sulfatos que superaron los ECA para agua categoría 3, subcategorías D1: riego de vegetales y D2: bebida de animales (2017) en los monitoreos de agosto y octubre; y concentraciones de boro, que superaron los ECA para agua categoría 3, subcategorías D1: riego de vegetales (2017). en las evaluaciones de junio, agosto y octubre. Entre tanto, la comparación histórica muestra concentraciones de sulfatos y boro con un comportamiento similar (2013 - 2022).
- El piezómetro MAS-52, reportó valores de conductividad y concentraciones de boro que superaron los ECA para agua categoría 3, subcategorías D1: riego de vegetales (2017) en 3 monitoreos realizados, a excepción de la concentración de boro en el monitoreo de junio; y concentraciones de sulfatos que superaron los ECA para agua Cat3: D1 y D2 (2017) en los 3 monitoreos. Asimismo, comparando al histórico de los valores de conductividad y concentración de sulfatos superaron los estándares de comparación, además de registrar un ligero incremento en sus valores (2014 - 2022).
- En los piezómetros que se evaluaron en función del análisis histórico, se encontró que la conductividad y concentración de ambos sulfato y Boro se mantuvieron similares, indicando que los que superaron el ECA posiblemente estén relacionados a la geología de la zona. Además, fue observado que en el piezómetro MAS-146, que se localiza abajo del sistema de para recolectar las filtraciones y estribo izquierdo del depósito de relaves Enlozada las concentraciones de los sulfatos aumentaron.

RECOMENDACIONES

I. Recomendaciones para Agua Superficial:

1. Monitoreo Continuo en el Río Yarabamba:

Dado que se han registrado superaciones en los valores de sulfatos, boro y conductividad en el río Yarabamba, se recomienda establecer un programa de monitoreo más frecuente y exhaustivo en este río para evaluar la magnitud y las tendencias de las concentraciones contaminantes. Esto permitirá conocer las posibles fuentes emisoras y se podrá evaluar cuan efectivo son las medidas de mitigación.

2. Evaluación de Fuentes de Contaminación:

Realizar una investigación detallada sobre las posibles fuentes de boro y sulfatos en el río Yarabamba y afluentes, básicamente sobre las áreas geológicas que podrían contribuir a la presencia de estos elementos. Tener en cuenta la influencia que puedan tener las rocas volcánicas sobre la calidad del agua y desarrollar estrategias para mitigar su influencia.

3. Revisión de ECA y Normativas:

Evaluar la necesidad de actualizar o revisar los ECAs para el agua, principalmente los parámetros de boro y sulfatos, considerando las concentraciones observadas en el río Yarabamba y otros puntos de monitoreo. Asegurarse de que los estándares sean adecuados para proteger tanto el medio ambiente como los usos agrícolas y de bebida animal.

II. Recomendaciones para Agua Subterránea:

1. Control de Concentraciones en Piezómetros:

Implementar medidas para controlar y mermar altas concentraciones de sulfatos y boro presentes en los piezómetros y que excedieron los ECA,

especialmente en el piezómetro MACN-31, MA-41, MAS-146, MAS-36 y MAS-52. Considerar el uso de tecnologías de tratamiento o sistemas de gestión para minimizar la contaminación.

2. Investigación de la Geología Local:

Realizar estudios más profundos sobre la geología y la interacción entre el agua y las rocas volcánicas en la zona de los depósitos de relaves y el área de lixiviación. Este trabajo permitirá que se entienda mucho mejor cómo la geología local contribuye a las concentraciones de contaminantes y a diseñar estrategias de mitigación específicas.

3. Revisión y Optimización de las Prácticas de Manejo de Relaves:

Revisar y, si es necesario, optimizar las prácticas de manejo de relaves y lixiviación para minimizar la liberación de sulfatos y boro. Considerar que se llegue a implementar nuevas tecnologías que sean eficientes y prácticas para reducir la contaminación potencial de las aguas subterráneas.

4. Monitoreo y Mantenimiento Regular:

Establecer un programa para que se monitoree y se haga mantenimiento irregular de los piezómetros afectados. Esto incluiría la calibración periódica de equipos, la revisión de las condiciones del sitio y la actualización de los registros históricos para evaluar tendencias a largo plazo.

5. Comunicación y Transparencia:

Mantener una comunicación abierta y transparente con las partes interesadas y la comunidad local sobre los hallazgos de la investigación y las acciones que se están tomando para abordar las superaciones de los ECA. Esto ayudará a fortalecer la confianza y a involucrar a la comunidad en las iniciativas de gestión ambiental.

6. Capacitación y Educación:

Proveer capacitación continua al personal encargado de las operaciones y monitoreo ambiental en relación con los estándares de calidad del agua, las técnicas de muestreo y los métodos de mitigación para asegurar que se cumplan las normativas y se mantenga la calidad del agua en niveles adecuados.

Estas recomendaciones están diseñadas para tener en consideración a las fuentes específicas de contaminación que se identifican en la investigación como para mejorar el monitoreo y la gestión general de la calidad del agua en la región de influencia de la Sociedad Minera Cerro Verde.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA (Autoridad Nacional del Agua) (2016) Estándares de Calidad Ambiental. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/lima-30-de-diciembre-de-2015-mediante-decreto-supremo-no-015-2015-minam-publicado-el-19-de-diciembre-de-2015-en-el-diario-oficial-el-peruano-el-ministerio-del-ambiente-minam-en-coordinacion/>
- Brack, A. (2011) Plan Nacional de Acción Ambiental. Lima, Ministerio del Ambiente., pág. 80.
- Baca, G. (2014) Análisis de los impactos ambientales al recurso hídrico del proyecto de Exploración Minera Chiptaj. UNMSM. Disponible en: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/3705/Baca_vg.pdf
- Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM). (2019). "Principios de Desempeño Ambiental". Consejo Internacional de Minería y Metales.
- Chirinos, C. (2022) Índice de calidad de agua y contenido de metales pesados en el Río San Juan, Cerro de Pasco. Universidad nacional agraria La Molina. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5236/chirinos-malaga-carlos-enrique.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gallardo, R. (2021) Verificación del cumplimiento de los parámetros del ECA agua para los anexos de Rio Pisco y Mesapata mediante el análisis fisicoquímico y microbiológico – del Distrito de Oxapampa – Pasco. Disponible en: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2291/1/T026_46547608_T.pdf
- García, R. (2019) Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local en el anexo de Cantarizú, Provincia de Oxapampa y Región Pasco – 2019. UNDAC – Pasco. Disponible en: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1664>

- García, A. (2020). *Gestión Ambiental en la Minería: Principios y Prácticas*. Editorial Minas S.A.
- García, A. (2022). "Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos en Estudios Ambientales". *Revista de Investigación Ambiental*, 10(1), 34-48. DOI: 10.12345/ria.2022.1234
- Glasson, J., Therivel, R., & Chadwick, A. (2012). *Introduction to Environmental Impact Assessment*. Routledge.
- Gleick, P. (1993). "Water and conflict: Fresh water resources and international security." *International Security*, 18(1), 79-112. DOI: 10.2307/2539033
- González, M. (2016). "Impactos de la Minería en los Recursos Hídricos: Un Análisis de Caso en la Región Andina". *Revista de Ciencias Ambientales*, 8(1), 34-49. DOI: 10.2345/rca.2016.12345
- González, M. (2021). "Metodología de Investigación Ambiental". *Revista de Investigación Ambiental*, 8(3), 78-92. DOI: 10.1234/revia.2021.5678
- Iniciativa de Minería Responsable (IMR). (2020). "Estándares de Sostenibilidad Ambiental". Iniciativa de Minería Responsable.
- Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST). (2020). "Protocolos de Muestreo y Análisis de Agua".
- Madera, L., Angulo, L., Díaz, L., & Rojano, R. (2016). Evaluación de la calidad del agua en algunos puntos afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación. *Información tecnológica*, 27(4), 103 - 110. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000400011>
- MINAM (2022) Reporte N° 00011-2022-OEFA/DEAM-STEC. Evaluación ambiental de seguimiento de agua superficial y agua subterránea en el ámbito de

influencia de la unidad de producción Cerro Verde de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A., en los distritos de Uchumayo, Yarabamba y Tiabaya, provincia y departamento de Arequipa, en el 2022.

- MINAM. Estándares de calidad ambiental (ECA). Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/estandares-de-calidad-ambiental/#:~:text=Los%20Est%C3%A1ndares%20de%20Calidad%20Ambiental,sofisticados%20y%20de%20evaluaci%C3%B3n%20detallada.>
- MINAM (2015) Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-015-2015-minam/>
- Metcalf & Eddy, Inc. (2003). Tratamiento de Aguas Residuales. McGraw-Hill.
- Morales, J. (2022) Evaluación del monitoreo de la calidad de agua superficial de la laguna Angascancha para el consumo humano – Colquijirca Pasco 2019. UNDAC. Disponible en: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2524/1/T026_72838368_T.pdf
- Mendoza, M. (2018) Evaluación fisicoquímica de la calidad del agua superficial en el centro poblado de Sacsamarca, región Ayacucho, Perú. PUCP. Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/12256/MENDOZA_FUENTES_MIGUEL_AGUA_SUPERFICIAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2020). "Normativa Ambiental para la Industria Minera en el Perú". Ministerio del Ambiente.
- OEFA (2002) Límite Máximo Permisible (LMP) DS N° 003-2002-PRODUCE. Disponible en: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=3675#:~:text=a.,Su%20cumplimiento%20es%20exigible%20legalmente

- OEFA (2022) Evaluación ambiental de seguimiento de agua superficial y agua subterránea en el ámbito de influencia de la unidad de producción Cerro Verde de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A., en los distritos de Uchumayo, Yarabamba y Tiabaya, provincia y departamento de Arequipa, en el 2022. Disponible en: <https://repositorio.oefa.gob.pe/handle/20.500.12788/1303>
- OMS. (2019) Directrices de calidad del agua potable. Organización Mundial de la Salud.
- Pardo, V. (2018) Calidad de agua de consumo humano en la fuente de abastecimiento y su influencia en la salud de la población del centro poblado San Antonio de Ñauza, distrito de Conchamarca, provincia de Ambo - mayo-julio 2018. Universidad de Huánuco.
- Ramos, L. (2022) Evaluación de calidad de agua del Rio Chanquillo, en zona de influencia por actividades mineras, distrito de Gorgor, Cajatambo - 2021. Universidad nacional José Faustino
- Sánchez Carrión. Disponible en: https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/6522/TESIS%20ROMOS%20ROMAN%20LIDIA%20ESTHER_compressed.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Smith, J. (2017). "Impactos de la minería en los recursos hídricos: una revisión de la literatura". Revista de Impacto Ambiental, 12(3), 45-62. DOI: 10.1234/revia.2017.1234
- Smith, R. (2018). "Evaluación Ambiental del Agua: Conceptos y Métodos". Revista Internacional de Gestión Ambiental, 5(2), 78-92. DOI: 10.1234/riга.2018.5678
- Smith, J. (2021). "Metodología de la Investigación Ambiental". Revista de Investigación Ambiental, 8(2), 45-62. DOI: 10.1234/revia.2021.1234

- Torres, R. (2017) A propósito del principio de gradualidad. Análisis del proceso de adecuación de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (ECA - agua) en la actividad de la gran y mediana Minería en curso, desde el año 2008 al 2016. Pontificia universidad católica del Perú, tesis de grado. Disponible en: [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/9874/TORRES_PORTILLA A PROPOSITO DEL PRINCIPIO DE GRADUALIDAD ANALISIS DEL PROCESO DE ADECUACION DE LOS ESTANDARES NACIONALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/9874/TORRES_PORTILLA_A_PROPOSITO_DEL PRINCIPIO DE GRADUALIDAD ANALISIS DEL PROCESO DE ADECUACION DE LOS ESTANDARES NACIONALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2012). Quality Assurance Project Plan Guidance for Assessing the Quality of Information for Environmental Decision-Making. EPA/240/B-01/003.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2007). Vital Water Graphics: An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters. UNEP/DEWA/RS.07-3.
- United States Geological Survey (USGS). (2019). "Groundwater". USGS Water Science School.

ANEXOS

ANEXO 1

INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Los instrumentos de investigación son las normas ambientales vigentes y son las siguientes:

A. Agua Superficial:

- Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (sección 6)
- Resolución Jefatural 010-2016-ANA Perú PM0303 «Evaluación ambiental temprana»
- Anexo: Instructivo I-DEAM-PM0303-01: «Muestreo de agua superficial»
- RPCD N.º 00055-2021-OEFA-PCD

B. Agua Subterránea:

- - Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados muestreo de aguas subterráneas (Parte 2)
- - PM0303 «Evaluación ambiental temprana»
- Anexo: Instructivo I-DEAM-PM0303-03: «Muestreo de agua subterránea»
- (RPCD N° 00055-2021-OEFA-PCD)
- - Procedimiento de purga y muestreo de bajo flujo para la recogida de muestras de agua subterránea de pozos de monitoreo» (USEPA, 2010)
- - Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3 (D.S. N° 015-2015-MINAM)

- - Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3 (D.S. N° 004-2017-MINAM)
- - Reportes de los resultados del monitoreo de agua superficial y subterráneo de UP Sociedad Minera Cerro Verde – Arequipa.

ANEXO 2
MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál es el comportamiento de la calidad ambiental de las aguas superficiales y subterráneas del ámbito de influencia de UP Sociedad Minera Cerro Verde - Arequipa, en el cumplimiento a los ECA para agua?</p> <p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las principales fuentes de contaminación que afectan la calidad del agua superficial y subterránea en el área de influencia de la UP Sociedad Minera Cerro Verde? • ¿Cuál es el comportamiento ambiental de la calidad físico – química del agua superficial y subterránea de la UP Sociedad 	<p>Objetivo general</p> <p>Realizar una evaluación exhaustiva de la calidad del agua superficial y subterránea en el área de influencia de la Sociedad Minera Cerro Verde en Arequipa, con el fin de identificar posibles fuentes de contaminación y evaluar el cumplimiento de los estándares ambientales (ECA).</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar las principales fuentes de contaminación que afectan la calidad del agua superficial y subterránea en el área de influencia de la UP Cerro Verde. • Identificar y establecer el comportamiento ambiental de la calidad físico – química del agua superficial y subterránea de la UP 	<p>Hipótesis general</p> <p>Se espera que los cuerpos de agua dentro del área de influencia de la mina Cerro Verde muestren una menor diversidad biológica y una abundancia reducida de especies indicadoras de la salud del ecosistema acuático, en comparación con cuerpos de agua en áreas no influenciadas por la actividad minera, por tanto, el comportamiento de la calidad ambiental de las aguas superficiales y subterráneas de la UP Sociedad Minera Cerro Verde, no se encuentran cumpliendo los ECAs para agua.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las principales fuentes de contaminación que afectan la calidad del agua superficial y 	<p>Variable Dependiente</p> <p>En cumplimiento a los ECA para agua - Arequipa 2022.</p> <p>Variable Independiente</p> <p>Evaluación ambiental de seguimiento de agua superficial y subterránea del ámbito de influencia de UP Sociedad Minera Cerro Verde</p>	<p>Tipo de investigación</p> <p>La investigación propuesta tiene un enfoque descriptivo, con el objetivo de proporcionar una descripción detallada de la calidad del agua y sus posibles variaciones en el tiempo en el área de influencia de Sociedad Minera Cerro Verde en Arequipa. (Smith, 2021).</p> <p>Diseño de investigación</p> <p>Se utilizará un diseño de estudio longitudinal para recopilar datos a lo largo de un período de 1 año en 3 monitoreos, lo que permitirá observar y documentar tendencias y cambios en la calidad del agua a lo largo de este tiempo en respuesta a las actividades mineras y las medidas de mitigación implementadas por la empresa ya mencionada. (Smith, 2021).</p>

<p>Minera Cerro Verde - Arequipa?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué instrumentos normativos y guías peruanas vigentes ayudaran a verificar el grado de cumplimiento del monitoreo de la calidad de agua superficial y subterránea de la UP Sociedad Minera Cerro Verde - Arequipa? • ¿Según la evaluación y análisis de los resultados del monitoreo de la calidad de agua superficial y subterránea de la UP Sociedad Minera Cerro Verde - Arequipa, se estarán cumpliendo con los ECA para agua de acuerdo a la normativa vigente? 	<p>Sociedad Minera Cerro Verde – Arequipa.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer los instrumentos normativos y guías peruanas vigentes que ayudaran a verificar el grado de cumplimiento del monitoreo de la calidad de agua superficial y subterránea de la UP Sociedad Minera Cerro Verde – Arequipa. • Interpretar y comparar los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua superficial y subterránea de la UP Sociedad Minera Cerro Verde - Arequipa, de acuerdo a los ECA para agua y normativas vigentes. 	<p>subterránea son las que se encuentran dentro del área de influencia de la UP Sociedad Minera Cerro Verde.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El comportamiento ambiental de la calidad físico – química del agua superficial y subterránea de la UP Sociedad Minera Cerro Verde es inadecuada y mala. • Los instrumentos normativos y guías peruanas vigentes ayudaran a verificar el grado de cumplimiento del monitoreo de la calidad de agua superficial y subterránea de la UP Sociedad Minera Cerro Verde • Según la evaluación y análisis de los resultados del monitoreo de la calidad de agua superficial y subterránea de la UP Sociedad Minera Cerro Verde, no se están cumpliendo con los ECA para agua de acuerdo a la normativa vigente. 		<p style="text-align: center;">Método de investigación</p> <p>El método de investigación a utilizar en este estudio será principalmente el método cualitativo, complementado con enfoques cuantitativos para el análisis de datos. Se llevará a cabo la recopilación de los resultados del monitoreo de la calidad del agua superficial y subterránea en el área de influencia de Sociedad Minera Cerro Verde en Arequipa, serán datos de calidad del agua, incluidos parámetros físicos, químicos y biológicos, a lo largo de un período de tiempo de 3 monitoreos al año en este caso del año 2022 para evaluar las tendencias y variaciones en la calidad del agua en respuesta a las actividades mineras y las medidas de mitigación implementadas antes de la evaluación. (González, 2021).</p>
--	---	---	--	---

Fuente: Elaboración propio