

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD MINERA ARTESANAL EN LA CALIDAD DEL
RIO OSCOCACHI, DISTRITO DE OLLACHEA, PROVINCIA DE CARABAYA,
DEPARTAMENTO DE PUNO, PERIODO 2021-2022.**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERA AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

MARIELLEN CINTYA SALAZAR MEZA.

Asesor: ING. M. SC. ALBERTO FRANCO, CERNA CUEVA

Tingo María – Perú

2026



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°039-2026-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 04 de febrero de 2026, a horas 09:30 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD MINERA ARTESANAL EN LA CALIDAD DEL RIO
OSCOCACHI, DISTRITO DE OLLACHEA, PROVINCIA DE CARABAYA,
DEPARTAMENTO DE PUNO, PERIODO 2021-2022”**


Presentado por la Bachiller: **MARIELLEN CINTYA, SALAZAR MEZA** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“BUENA”**.

En consecuencia, la sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 10 de abril de 2026


Ing. MSc. **ABBY SOLANGE DA CRUZ RODRIGUEZ**
PRESIDENTE


Ing. MSc. **PATRICIA PILAR ROMERO USHUÑAHUA**
MIEMBRO


Dra. **ANGIE TATYANA FERNANDEZ ESCOBAR**
MIEMBRO


Ing. M. Sc. **ALBERTO FRANCO CERNA CUEVA**
ASESOR





UNAS

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 133 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Table with 2 columns: Tipo de documento, Tipo de documento. Row 1: Tesis, X Trabajo de Suficiencia Profesional

Table with 4 columns: TÍTULO, AUTOR, SIMILITUD, CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL. Row 1: INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD MINERA ARTESANAL EN LA CALIDAD DEL RIO OSCOCACHI, DISTRICTO DE OLLACHEA, PROVINCIA DE CARABAYA, DEPARTAMENTO DE PUNO, PERIODO 2021-2022. MARIHELLEN CINTYA SALAZAR MEZA. 10 % Diez. Menor a 20 %

Tingo María, 27 de abril de 2026.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTIFICO
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

DEDICATORIA

A Dios, por darme fortaleza,
sabiduría y perseverancia para
continuar aun en los
momentos más difíciles.

A mis padres Marilu Meza Esquivel, Ever
Salazar Ponce por su amor, apoyo
incondicional y confianza constante en
cada etapa de mi formación profesional.
Gracias por ser mi mayor motivación y por
impulsarme siempre a seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

- Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios, por brindarme salud, fortaleza y la oportunidad de culminar satisfactoriamente esta etapa tan importante de mi vida profesional.
- A mis padres y familia, por su amor, apoyo incondicional, comprensión y motivación constante durante todo este proceso académico. Gracias por acompañarme y confiar siempre en mí.
- A mi asesor(a) de tesis y docentes, por su orientación, conocimientos y valioso tiempo brindado para el desarrollo de esta investigación. Sus enseñanzas fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.
- Asimismo, agradezco a todas las personas e instituciones que contribuyeron de manera directa o indirecta en la realización de esta tesis.
- Finalmente, agradezco a quienes estuvieron presentes en este camino, brindándome ánimo y apoyo para no rendirme y alcanzar esta meta profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	2
1.1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes	3
2.1.1. Internacionales	3
2.1.2. Nacionales.....	4
2.1.3. Locales	7
2.2. Marco teórico	9
2.2.1. Agua.....	9
2.2.2. Calidad de Agua.....	10
2.2.3. Parámetros Fisicoquímicos, Metales y Parámetros Orgánicos	11
2.2.4. Estándares de calidad ambiental para agua.....	20
2.2.5. Minería artesanal.....	22
2.2.6. Impacto de las actividades minero-artesanales en la calidad de agua	23
2.2.7. Zona de mezcla	24
2.2.8. Índice de calidad de agua (ICA – PE).....	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. Lugar de ejecución.....	30

3.1.1. Ubicación política	30
3.1.2. Ubicación geográfica	30
3.1.3. Clima.....	32
3.2. Materiales y equipos	33
3.3. Criterios de Investigación	33
3.3.1. Tipo de investigación.....	33
3.3.2. Variables de investigación	34
3.3.3. Operacionalización de variables	35
3.3.4. Diseño de investigación	36
3.3.5. Población y muestra.....	36
3.3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	37
3.3.7. Análisis estadísticos de datos.....	37
3.4. Método	38
3.4.1. Identificación de los parámetros fisicoquímicos y metales (As, Hg, Al, Fe, Pb, Zn, Co, Cd y Cu) y parámetros orgánicos en el río Oscocachi.	38
3.4.2. Procedimiento para la evaluación de la conformidad con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.	39
3.4.3. Determinación del índice de calidad de agua (ICA) en el río Oscocachi mediante el ICA-PE.....	39
3.4.4. Estimación del consumo de agua en los diferentes procesos de la minería artesanal	39
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1. Identificación de las características de los parámetros fisicoquímicos, metales y orgánicos	42

4.2. Comportamiento temporal de los parámetros de calidad del agua y su comparación con el ECA.....	50
4.3. Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) del Río Oscocachi	79
4.3.1. Cálculo de los Factores F1, F2, F3:	79
4.4. Análisis inferencial	88
4.5. Consumo de Agua en los Diferentes Procesos de la Minería Artesanal.....	98
V. CONCLUSIONES	101
VI. PROPUESTAS A FUTURO	102
VII. REFERENCIAS.....	104
ANEXOS.....	111
Apéndice A. Normativas utilizadas.....	112
Apéndice B. Constancia de laboratorio	114
Apéndice C. Modelo o datos de encuesta.....	119
Apéndice D. Datos de la encuesta	123
Apéndice E. Fotografías	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Estándares de calidad ambiental para agua – categoría 3	22
2. Rangos y calificación cualitativa del índice de calidad del agua (ICA-PE) según Resolución Jefatural N°068-2018 ANA.....	29
3. Coordenadas de referencia general del tramo de estudio del río Oscocachi.....	31
4. Georreferencia de las estaciones de monitoreo en coordenadas UTM.....	31
5. Operacionalización de las variables.....	35
6. Parámetros fisicoquímicos, metales y parámetros orgánicos, técnicas de muestreo y método de análisis a evaluar	38
7. Descripción de los procesos de la actividad minera artesanal en Ollachea que requieren consumo de agua.	40
8. Consumo estimado de agua en m ³ /Tn-Roca y m ³ /mes por proceso en Socavones de minería artesanal de Ollachea, 2021-2022.....	41
9. Estadísticos descriptivos de parámetros fisicoquímicos y metales en la estación AA1 (aguas arriba del Río Oscocachi), 2021-2022.	42
10. Estadísticos descriptivos de parámetros fisicoquímicos y metales en la estación AA2 (aguas arriba del Río Oscocachi), 2021-2022	43
11. Estadísticos descriptivos de parámetros fisicoquímicos y metales en la estación Aa1 (aguas abajo del Río Oscocachi), 2021-2022.	44
12. Estadísticos descriptivos de parámetros fisicoquímicos y metales en la estación Aa2 (aguas abajo del Río Oscocachi), 2021-2022.	46
13. Valores promedio de parámetros fisicoquímicos en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi, 2021-2022.....	47
14. Valores promedio de parámetros metálicos en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi, 2021-2022.....	48

15.	Concentraciones de pH en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).....	50
16.	Temperaturas del agua en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).....	51
17.	Conductividad eléctrica en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).....	53
18.	Concentraciones de oxígeno disuelto en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM).....	55
19.	Valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).....	57
20.	Valores de demanda química de oxígeno (DQO) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).	58
21.	Concentraciones de sulfatos en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).....	60
22.	Concentraciones de cloruros en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).....	61
23.	Concentraciones de mercurio (Hg) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).	63
24.	Concentraciones de aluminio (Al) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM).....	64
25.	Concentraciones de arsénico (As) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).	66
26.	Concentraciones de cadmio (Cd) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM).....	68
27.	Concentraciones de cobalto (Co) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).	70
28.	Concentraciones de cobre (Cu) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).....	71

29. Concentraciones de hierro (Fe) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).....	73
30. Concentraciones de plomo (Pb) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).....	75
31. Concentraciones de zinc (Zn) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).....	77
32. Factores (F1, F2, F3) y valores finales del ICA-PE para la estación AA1 (aguas arriba del Río Oscocachi) según D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3.	79
33. Factores (F1, F2, F3) y valores finales del ICA-PE para la estación AA2 (aguas arriba del Río Oscocachi) según D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3.	80
34. Factores (F1, F2, F3) y valores finales del ICA-PE para la estación Aa1 (aguas abajo del Río Oscocachi) según D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3.	81
35. Factores (F1, F2, F3) y valores finales del ICA-PE para la estación Aa2 (aguas abajo del Río Oscocachi) según D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3.	82
36. Resultados de la prueba de Mann-Whitney U para comparación de parámetros fisicoquímicos y metálicos entre estaciones aguas arriba y aguas abajo del Río Oscocachi, 2021-2022.....	88
37. Continuación de los resultados de la prueba de Mann-Whitney U para parámetros metálicos y el ICA-PE.	89
38. Análisis descriptivo y consumo estimado de agua por proceso.....	98
39. Percepción de contaminación del Río Oscocachi	99
40. Percepción de contaminación del río Oscocachi debido al consumo de agua para la actividad minera artesanal.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Esquema conceptual de la zona de mezcla en cuerpos naturales de agua lótico.....	25
2. Etapas para el cálculo del índice de calidad de agua ICA-PE.....	26
3. Ubicación política del distrito de Ollachea (provincia de Carabaya, departamento de Puno.	30
4. Ubicación de las estaciones de monitoreo.....	32
5. Variación temporal de las concentraciones de pH en las estaciones de monitoreo.....	50
6. Variación temporal de la temperatura del agua en las estaciones de monitoreo	52
7. Variación temporal de la conductividad eléctrica en las estaciones de monitoreo	54
8. Variación temporal de las concentraciones de oxígeno disuelto en las estaciones de monitoreo.	55
9. Variación temporal de los valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en las estaciones de monitoreo.	57
10. Variación temporal de los valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las estaciones de monitoreo	59
11. Variación temporal de las concentraciones de sulfatos en las estaciones de monitoreo	60
12. Variación temporal de las concentraciones de cloruros en las estaciones de monitoreo	62
13. Variación temporal de las concentraciones de mercurio (Hg) en las estaciones de monitoreo.....	63
14. Variación temporal de las concentraciones de aluminio (Al) en las estaciones de monitoreo.....	65
15. Variación temporal de las concentraciones de arsénico (As) en las estaciones de monitoreo	67
16. Variación temporal de las concentraciones de cadmio (Cd) en las estaciones de monitoreo	68
17. Variación temporal de las concentraciones de cobalto (Co) en las estaciones de monitoreo	70
18. Variación temporal de las concentraciones de cobre (Cu) en las estaciones de monitoreo	72
19. Variación temporal de las concentraciones de hierro (Fe) en las estaciones de monitoreo	74
20. Variación temporal de las concentraciones de plomo (Pb) en las estaciones de monitoreo	75

21.	Variación temporal de las concentraciones de zinc (Zn) en las estaciones de monitoreo.....	77
22.	Histogramas y análisis de frecuencia del ICA-PE para las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) del Río Oscocachi.	84
23.	Histograma y análisis de frecuencia del ICA-PE para las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) del Río Oscocachi.....	85
24.	Variación temporal de los valores del ICA-PE por estación de monitoreo en el Río Oscocachi (2021-2022)	87
25.	Diagramas de caja comparativo de pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto entre estaciones aguas arriba y aguas abajo.....	91
26.	Diagramas de caja comparativos de DBO, DQO, sulfatos y cloruros entre estaciones aguas arriba y aguas abajo.....	93
27.	Diagramas de caja comparativos de concentraciones de mercurio, aluminio, arsénico y cadmio entre estaciones aguas arriba y aguas abajo.....	94
28.	Diagramas de caja comparativos de concentraciones de cobalto, cobre, hierro y plomo entre estaciones aguas arriba y aguas abajo.....	96
29.	Diagramas de caja comparativos de concentraciones de zinc y valores del ICA-PE entre estaciones aguas arriba y aguas abajo.....	97
30.	Protocolo Nacional Para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales - Resolución Jefatural N°010-2016 ANA.	112
31.	Estándares de Calidad Ambiental para Agua-D. S N°004-2017-MINAM. (Categoría 3, Subcategoría D1 y D 2).	113
32.	Estación AA1	145
33.	Toma de muestra de agua en la Estación AA1.....	145
34.	Estación AA2	146
35.	Toma de muestra en la Estación AA2.....	146
36.	Estación Aa1	147
37.	Toma de muestra en la Estación Aa1	147

38. Estación Aa2	148
39. Punto de toma de muestra de la Estación Aa2	148
40. Alrededores de los puntos aguas arriba del río Oscocachi.....	149
41. Alrededores de los puntos aguas arriba del río Oscocachi.....	149
42. Alrededores de los puntos aguas arriba del río Oscocachi.....	150
43. Alrededores de los puntos aguas arriba del río Oscocachi.....	150
44. Alrededores de los puntos aguas arriba del río Oscocachi.....	151
45. Alrededores de los puntos aguas arriba del río Oscocachi.....	151
46. Aguas abajo del río Oscocachi	152
47. Aguas abajo del río Oscocachi	152
48. Confluencia del río Oscocachi con el río Ollachea	153
49. Zona de mezcla	153

RESUMEN

El presente estudio determinó la influencia de la actividad minería artesanal, en la calidad del río Oscocachi, Ollachea, Puno (2021-2022). Se empleó un diseño descriptivo, no experimental y longitudinal, estimando el consumo de agua en 40 socavones mediante encuestas y evaluando la calidad del agua en 4 estaciones (2 aguas arriba, 2 aguas abajo) del río. Se analizaron parámetros fisicoquímicos, metales (As, Hg, Al, Fe, Pb, Zn, Co, Cd, Cu) y orgánicos (DBO, DQO) con mediciones in situ y laboratorio, calculando el Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) y usando la prueba Mann-Whitney U. Los resultados revelaron un consumo promedio de ~1198 m³/socavón/mes. Aguas arriba, la calidad fue "Excelente" (ICA-PE ~100%). Sin embargo, aguas abajo, el río sufrió acidificación severa (pH bajo), aumento exponencial de la conductividad eléctrica, y altas concentraciones de DBO, DQO, sulfatos, cloruros y metales pesados (Fe, Al, As, Hg, Pb, Co, Cu, Zn) que frecuentemente superaron los Estándares de Calidad Ambiental. La prueba de Mann-Whitney confirmó diferencias significativas para la mayoría de los parámetros y el ICA-PE entre secciones. Se concluye que la minería artesanal impacta negativamente la calidad del río, usándolo como vector de contaminación, degradando su composición química y ecológica a niveles "Regular" o "Malo". Se proponen medidas de buenas prácticas para mitigar estos efectos.

Palabras clave: Minería Artesanal, Calidad del Agua, Contaminación Hídrica, Impacto Ambiental, Oscocachi

The Influence of Artisan Mining Activity on the Quality of the Oscocachi River in the Ollachea District of the Carabaya Province in the Puno Department During the 2021 – 2022 Period

Abstract

In the present study the influence of artisan mining activity on the quality of the Oscocachi River in Ollachea, Puno, [Peru] (2021 – 2022) was determined. A descriptive, non-experimental and longitudinal design was used, estimating the water consumption for forty sinkholes using surveys and evaluating the quality of the water from the river at four stations (two upstream and two downstream). Physicochemical, metal (As, Hg, Al, Fe, Pb, Zn, Co, Cd, [and] Cu) and organic (BOD (DBO in Spanish), COD (DQO in Spanish)) parameters were analyzed with in situ and laboratory measurements, [and the] water quality index (WQI (ICA-PE in Spanish)) was calculated and the Mann-Whitney U test was used. The results revealed an average consumption of ~1198 m³/sinkhole/month. Upstream, the water quality was “excellent” (ICA-PE ~100%). However, downstream, the river suffered severe acidification (low pH), exponentially increasing the electrical conductivity, and [there were] high concentrations of BOD, COD, sulphates, chlorides, and heavy metals (Fe, Al, As, Hg, Pb, Co, Cu, [and] Zn) which frequently surpassed the water quality standards. The Mann-Whitney test confirmed significant differences for the majority of the parameters and [for] the ICA-PE between the sections. It was concluded that artisan mining negatively impacted the quality of the river, using it as a contamination vector, degrading its chemical and ecological composition to “average” or “poor” levels. Good practice measures were proposed to mitigate these effects.

Keywords: artisan mining, water quality, hydric contamination, environmental impact, Oscocachi

I. INTRODUCCIÓN

La evaluación de la calidad de los recursos hídricos constituye una prioridad global crítica, dada la escasez del agua dulce disponible y su importancia insustituible para la salud humana y el equilibrio ecológico. A pesar de ser una fuente de sustento vital para millones de personas y representar cerca del 15% de la producción mundial de oro, la minería artesanal es identificada por la Organización de las Naciones Unidas como la fuente principal de contaminación de cuerpos receptores debido a la liberación de sustancias tóxicas (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2018). La transgresión de los límites de seguridad en parámetros fisicoquímicos y biológicos conlleva consecuencias severas; de hecho, la Organización Mundial de la Salud advierte que cerca del 80% de las enfermedades prevalentes en naciones en desarrollo están vinculadas a una deficiente calidad del agua (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017). Por consiguiente, la gestión de este recurso no solo implica un desafío técnico, sino una necesidad imperativa para garantizar la salud pública y la sostenibilidad ambiental.

En el contexto peruano, numerosos cuerpos de agua exhiben un deterioro significativo atribuible a la intervención antropogénica, siendo la descarga de efluentes de la minería artesanal un vector alarmante que afecta diversas zonas de la costa, sierra y selva (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú [IIMP], 2025). Esta problemática se manifiesta con particular gravedad en el departamento de Puno, específicamente en la provincia de Carabaya, donde la Autoridad Nacional del Agua ha reportado que la mayoría de los cuerpos fluviales se encuentran afectados por vertimientos de aguas residuales, productos del consumo de agua en la actividad minera artesanal, sin tratamiento previo (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2022).

Actualmente, en el distrito de Ollachea, la actividad minera artesanal se desarrolla a lo largo del valle del río Oscocachi mediante la explotación de yacimientos auríferos. Estas operaciones generan grandes volúmenes de vertimientos cargados de sedimentos y componentes químicos que son evacuados directamente al cauce sin ningún tratamiento, alterando presuntamente su calidad.

La presente investigación se justifica en la necesidad de generar información científica precisa que permita subsanar el desconocimiento existente sobre el estado actual del recurso hídrico que utilizan los pobladores de Ollachea. El estudio busca responder la interrogante sobre si influye la actividad minería artesanal en la calidad del río Oscocachi, distrito de Ollachea, provincia de Carabaya, Departamento de Puno, periodo 2021 - 2022. Planteándose como hipótesis que dicha actividad influye en la calidad del cuerpo de agua. De esta manera, al determinar la influencia de la actividad minera sobre la calidad del río Oscocachi, este trabajo no solo proporciona una base

de datos fundamental para la gestión ambiental local, sino que servirá como un insumo de referencia esencial para futuras acciones de monitoreo y toma de decisiones por parte de las autoridades competentes.

En este contexto, la problemática central radica en que la actividad minera artesanal desarrollada a lo largo del valle del río Oscocachi genera grandes volúmenes de vertimientos derivados de la explotación aurífera. Estas descargas, que carecen de tratamiento alguno, transportan sedimentos y componentes químicos que son evacuados directamente al cuerpo receptor, alterando potencialmente sus características fisicoquímicas y biológicas. En consecuencia, se plantea como interrogante de investigación el determinar de qué manera influye la actividad minera artesanal en la calidad del río Oscocachi, distrito de Ollachea, provincia de Carabaya, Departamento de Puno, periodo 2021-2022. La resolución de este problema permitió alcanzar el objetivo general como se detalla a continuación.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la actividad minera artesanal en la calidad del río Oscocachi, distrito de Ollachea, provincia de Carabaya, Departamento de Puno, periodo 2021 - 2022.

1.1.2. Objetivos específicos

Identificar las características de los parámetros fisicoquímicos, metales (As, Hg, Al, Fe, Pb, Zn, Co, Cd y Cu) y parámetros orgánicos en el río Oscocachi.

Comparar los resultados con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental - ECA para Agua.

Determinar el índice de calidad de agua (ICA) en el río Oscocachi mediante el ICA-PE.

Estimar el consumo de agua en los diferentes procesos de la minería artesanal.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Karikari et al. (2022) desarrolló una investigación en Ghana con el objetivo de evaluar el impacto de la minería artesanal y en pequeña escala sobre la calidad del agua en el sistema de ríos del suroeste del país, una zona históricamente afectada por actividades mineras informales. Para ello, se recolectaron 35 muestras de agua en julio de 2018 y se analizaron parámetros fisicoquímicos siguiendo los procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Los resultados revelaron altos niveles de turbidez (media de 488 NTU) y sólidos suspendidos totales (TSS, media de 382 mg/L), así como concentraciones elevadas de hierro y cobre. También se detectaron niveles de amoníaco, fosfatos, DBO y oxígeno disuelto que indican contaminación moderada. Se concluyó que la minería artesanal, junto con la escorrentía superficial, el vertimiento de residuos domésticos y la disolución natural de minerales, son las principales fuentes de contaminación. El estudio advierte que, sin una regulación estricta, los niveles de turbidez y TSS podrían comprometer el funcionamiento de las plantas de tratamiento de agua de la Ghana Water Company Limited, afectando el abastecimiento hídrico regional. Esta evidencia refuerza la necesidad de políticas ambientales más rigurosas en contextos de minería informal.

Ngounouno et al., (2022) realizaron un estudio en Gankombol, región de Adamawa, Camerún, con el objetivo de evaluar el impacto espacial y temporal de la minería de oro artesanal y semi-mecanizada sobre la calidad del agua del río Lom. Se recolectaron 48 muestras durante las estaciones seca y lluviosa, analizando parámetros fisicoquímicos, iones mayores y metales (Fe, Pb, As, Cd, Hg) mediante métodos hidroquímicos, estadística multivariada y modelamiento geoestadístico. Los resultados mostraron aguas ácidas a neutras (pH 5.3–6.9), alta turbidez (117–510 NTU), sólidos suspendidos (22.89–471 mg/L) y concentraciones de metales que exceden los límites de la OMS. El índice de calidad del agua (WQI = 997.5) indicó que el agua es no apta para consumo humano. Se concluyó que la contaminación está asociada a la actividad minera, la meteorización de unidades geológicas y la estacionalidad. Se recomienda implementar medidas urgentes de remediación ambiental para mitigar los impactos sobre la salud humana y los ecosistemas acuáticos.

2.1.2. Nacionales

Garay y Núñez (2020) realizaron una investigación el cual se desarrolló en Hualgayoc, Cajamarca, y tuvo como propósito fundamental evaluar la influencia del vertimiento de la actividad de la empresa minera Gold Fields La Cima en el deterioro de la calidad de las aguas del río Tingo–Maygasbamba. La metodología empleada fue de carácter analítico y riguroso, incluyendo la toma de muestras en dos puntos estratégicos del cauce fluvial (aguas arriba y aguas abajo). Además, se aplicaron técnicas avanzadas como la microscopía y la espectrometría para la identificación precisa de metales pesados y no pesados —tales como arsénico, cobre, hierro, manganeso, plomo y mercurio, junto con el análisis de parámetros fisicoquímicos cruciales como el pH y la turbidez. Por consiguiente, los resultados del estudio evidenciaron alteraciones significativas en la composición hídrica, con concentraciones que exceden considerablemente los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), lo cual fue atribuido a factores como los desmontes, las pozas de sedimentación y los drenajes ácidos de mina. En consecuencia, se concluyó que la operación minera mencionada genera impactos negativos directos sobre el ecosistema acuático y, de manera crucial, sobre la salud de la población aledaña, problemática que se ve agravada por la deficiente información y comunicación dirigida a las comunidades locales. De esta manera, el estudio finalizó recomendando de forma imperativa el fortalecimiento de la vigilancia ambiental y una mayor transparencia en la gestión de las operaciones mineras.

En un estudio conducido por Castro (2021) subraya que el proceso de la minería aurífera es un generador de serios inconvenientes ambientales y de salud pública. Estos problemas incluyen, de manera destacada, la polución del recurso hídrico, la consecuente disminución de las áreas boscosas, y la afectación directa a la flora y fauna locales. Dichas externalidades negativas se originan principalmente por el traslado de vastas cantidades de tierra, la acumulación de rocas voluminosas, la obstrucción de los lechos fluviales debido al vertido masivo de partículas en suspensión, y, de manera crucial, el uso excesivo de mercurio en las etapas de amalgamación y destilado. En este contexto, el autor desarrolló una investigación específica en la localidad de Huepetuhe, Madre de Dios, con el propósito de conocer y cuantificar cómo la minería de oro —ejecutada mediante el uso de motobombas, maquinaria pesada, carretillas y lampas— impactaba en la contaminación por mercurio del río. Para realizar su análisis, el investigador empleó una metodología mixta, que consistió en la toma de muestras del río Huaypetuhe antes de su confluencia con el río Pukiri, complementada con la aplicación de encuestas a 166 residentes de la zona. Por consiguiente, los resultados estadísticos confirmaron la hipótesis inicial, pues se demostró que la minería aurífera sí ejerce una influencia considerable en la contaminación por

mercurio en el río de Huepetuhe, como lo evidencia el resultado estadístico (P -valor=0,000), al ser notablemente inferior a 0,05. Este hallazgo categórico permitió descartar la premisa de que la actividad carecía de un impacto significativo. Además, al examinar la relación entre las técnicas de extracción y la contaminación, el estudio arrojó coeficientes de correlación Rho de Spearman positivos y con una variación de moderada a alta, que fueron de $r=0,831$ para el uso de motobombas, $r=0,875$ para la maquinaria pesada, y $r=0,481$ para el empleo de carretillas y lampas.

Jiménez (2020), desarrolló una investigación que se ejecutó en la localidad de La Rinconada, Puno, una zona de importancia geoestratégica crucial por constituir la cabecera de la cuenca hidrográfica del Titicaca. Ello implica que los cuerpos de agua que alimentan al lago nacen precisamente en este lugar. El propósito fundamental del estudio fue identificar y caracterizar las causas de los impactos ambientales generados por las operaciones mineras, tanto locales como foráneas, sobre los recursos hídricos que, en última instancia, desembocan en el lago. Durante la observación en La Rinconada, el investigador constató in situ la actividad de mineros artesanales, quienes ingresan a los socavones, transportan material bruto de roca y realizan la molienda en trapiches para la extracción aurífera, proceso que depende del uso de mercurio. De igual forma, se evidenció la circulación libre de aguas industriales mineras, desechos sólidos y aguas domésticas a través de las calles de la localidad. La Autoridad Local del Agua Ramis en Puno proporcionó información vital sobre los puntos críticos de contaminación, los cuales fueron clasificados como aguas ácidas que cumplen con la categoría 4 de la normativa administrativa, lo que denota un estado de conservación del ambiente acuático con hipoxia. Por consiguiente, se concluyó que las aguas que nacen en el cerro La Rinconada y fluyen hacia los bofedales y la laguna homónima se encuentran contaminadas con acidez. En consecuencia, estos vertidos causan efectos perjudiciales en la flora, la fauna silvestre y la salud humana a lo largo de todo el recorrido fluvial hasta alcanzar el emblemático lago Titicaca.

Vásquez (2024), elaboró una tesis en la provincia de Hualgayoc, Cajamarca, Perú, con el objetivo general de determinar el impacto generado por los vertimientos mineros en la calidad de agua del Río Tingo y quebradas adyacentes (La Eme, Mesa de Plata y El Puente La Hierba) durante el periodo 2018 a 2022. La metodología empleada fue de tipo no experimental, con una vigilancia ambiental que consistió en el análisis de cuatro vertimientos mineros y la toma de muestras en ocho puntos de monitoreo (aguas arriba y aguas abajo), con el fin de determinar la concentración de parámetros fisicoquímicos (DBO_5 , DQO , pH) e inorgánicos (Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn), comparándolos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3. Para el análisis de regresión se utilizó la prueba T del software STATGRAPHICS. En cuanto a los

resultados, la DBO₅ y la DQO fueron aceptables, pero el pH mostró valores de acidez en varios puntos críticos. Respecto a los metales, el Aluminio no transgredió los ECA, pero se encontró transgresión de Arsénico (As) en 2018, y de Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn) en todos los años evaluados. Se llegó a la conclusión de que el vertimiento 4 (de la Sociedad Minera Corona S.A.) sí generó un impacto negativo y fue el punto más crítico de contaminación en el Río Tingo, si bien se sugiere la posible influencia del Pasivo Ambiental San Nicolás ubicado previamente.

Mantari y Pinchi (2021), llevaron a cabo una investigación descriptiva, correlacional y transeccional en Parcoy, La Libertad, Perú, con el objetivo de determinar la influencia de la minería aurífera artesanal e informal en la calidad del recurso hídrico de la zona. La metodología se centró en un diseño no experimental correlacional-causal, utilizando la evaluación físico-química de muestras de agua superficial en cinco puntos de control (quebradas Balcones, Huinchus, Huariracra, Trancahuayco y Río Parcoy), y la aplicación de una encuesta a 44 personas de la comunidad para evaluar la percepción social. Se emplearon el coeficiente de correlación de Pearson y el software SPSS para el análisis estadístico de los datos. Los resultados principales indicaron una correlación significativa entre la minería artesanal e informal y la contaminación del recurso hídrico, con un coeficiente de Pearson de 0.663. Específicamente, se identificó que el 63.3% de la contaminación se debía a la presencia de metales pesados (arsénico, cadmio, plomo, zinc y hierro). Por ejemplo, se encontró que el hierro excedía el límite permisible en el 100% de los puntos de control, mientras que el cadmio lo hacía en el 80%. Además, parámetros como el pH indicaron niveles de acidez críticos en varios puntos de muestreo, siendo no apta para consumo humano ni vida acuática. En conclusión, la investigación confirma la influencia directa y negativa de la minería aurífera artesanal e informal en la calidad del agua superficial de Parcoy, lo que exige el diseño de un plan preventivo de control de metales pesados.

Salas-Ávila et al. (2021), llevaron a cabo una investigación de enfoque mixto en el río Suches, Cojata, Puno, Perú, con el objetivo principal de evaluar la concentración de metales pesados en el cuerpo hídrico y analizar el comportamiento social de los actores locales en relación con la calidad del agua y las actividades mineras de la zona. La metodología se centró en la recolección de muestras de agua y sedimentos en cinco puntos de control, cuantificando seis metales pesados (As, Cd, Cr, Pb, Cu, Hg) mediante Espectrofotometría de Masas con Plasma Inductivo Acoplado (ICP-MS). El estudio se complementó con un análisis cualitativo del comportamiento social, recogiendo testimonios a través de entrevistas semiestructuradas y grupos focales a autoridades comunales. Los resultados ambientales fueron contundentes: aunque las

concentraciones de metales en el agua superficial se encontraban por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) peruanos para la categoría 3, las muestras de sedimentos mostraron una grave transgresión. Específicamente, el Arsénico (As) (11.52 mg/kg) y el Cadmio (Cd) (1.14 mg/kg) superaron los límites recomendados por la guía canadiense ISQG. Esta contaminación de sedimentos se atribuyó directamente a las descargas generadas por las excavaciones mineras y al drenaje. El comportamiento social de los comuneros evidenció un claro rechazo a la actividad minera, asociando la mala calidad hídrica con la turbidez visible del agua. En conclusión, la evidencia sugiere que la presencia de metales en los sedimentos causaría un impacto negativo a largo plazo en la calidad del agua, lo que fundamenta la necesidad urgente de la formalización de la minería en Cojata y la mejora de las normativas ambientales nacionales.

Por otro lado, Chirinos (2022) llevó a cabo una investigación en la Provincia de Pasco, Departamento de Pasco. El objetivo principal del estudio fue determinar el índice de calidad de agua y de metales pesados en el río San Juan durante el periodo 2012-2018, justificado por la necesidad de evaluar el impacto de las actividades mineras y poblacionales en este cuerpo de agua. La metodología se basó en el análisis de los resultados de monitoreo de la red de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) de los años 2012 a 2018. Para la estimación de la calidad se aplicaron dos índices clave: el Índice de Calidad del Agua (ICA CCME) y el Índice de Metales Pesados (HPI), utilizando parámetros fisicoquímicos y la concentración de metales pesados como Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn. Entre los resultados más importantes, se encontró que la calidad del agua presenta un impacto negativo, clasificándose como Buena en la parte alta, Pobre en la parte media y Regular en la parte baja del río. Esta segmentación de la calificación, evaluada en dos subperiodos (2012-2015 y 2016-2018), fue considerada más realista que la evaluación del periodo total, ya que evidenció mejoras en la calidad de agua en el tramo medio-final e inferior. La conclusión principal sugiere que, mientras la parte alta es apta para la vida acuática y el abastecimiento de agua sin restricciones, la parte media solo es viable como cuerpo receptor de vertidos residuales, y la parte baja se recomienda únicamente para riego restringido y recreación con contacto limitado.

2.1.3. Locales

A nivel local, la investigación conducida por Huanca (2018), en las localidades de La Rinconada y Ollachea, ubicadas en el departamento de Puno, constituyó un esfuerzo académico fundamental. El propósito central de esta tesis radicó en llevar a cabo una evaluación exhaustiva del proceso operativo de la explotación minera, así como del grado de acatamiento de las regulaciones ambientales y de seguridad laboral que rigen la actividad subterránea de pequeña escala. Dicha evaluación se materializó mediante un estudio de caso específico, focalizado en dos

unidades mineras que se encontraban inmersas en el proceso administrativo de formalización. La metodología aplicada en este análisis fue de carácter sistemático, empleando una lista de verificación detallada junto con técnicas de estadística descriptiva. Por consiguiente, los hallazgos empíricos de este trabajo académico arrojaron resultados críticos al constatar la existencia de impactos ambientales trascendentales que afectaban de manera directa e innegable recursos vitales como el agua, el suelo y la atmósfera. De manera específica, se determinó que la totalidad de los trabajadores (100%) carecía de acceso a agua potable, y se documentó la identificación de emisiones de mercurio al aire y una considerable contaminación del suelo a causa de los depósitos de desechos mineros. No obstante, las conclusiones también revelaron una deficiencia alarmante en materia de seguridad laboral, ya que los accidentes de trabajo no se investigaban en un 53% de los casos en La Rinconada y en un 46% en Ollachea, lo cual implica un riesgo constante y elevado para la integridad y la vida de los operarios de las minas.

Meza-Duman et al. (2022) llevaron a cabo una investigación en la comunidad de Ollachea, Puno, Perú, con el objetivo de abordar de forma multidisciplinaria la influencia de la minería artesanal en la calidad del agua y el desarrollo territorial, dada la importancia económica del sector frente a sus potenciales efectos negativos en los recursos hídricos. La metodología empleada combinó tres enfoques: se realizó una evaluación fisicoquímica del río Oscocachi (midiendo pH, T, CE y POR), se utilizó un análisis de imágenes satelitales multitemporales (2010-2019) y correlación de Pearson para la expansión territorial, y se aplicó una encuesta semiestructurada a 69 pobladores mediante muestreo de bola de nieve para determinar la percepción social. Los resultados fueron contundentes al demostrar que el crecimiento de la Comunidad de Ollachea está fuertemente asociado a la expansión territorial minera ($r = 0.95$, $p < 0.05$). En la parte ambiental, se detectó un nivel de acidez leve en el tramo final del río, con un pH promedio de 5.9, valor inferior a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Esta afectación se correlacionó con la percepción social, ya que una gran mayoría de los encuestados (79.7%) identificó al río Oscocachi como el más afectado y vinculó directamente la actividad minera con la prevalencia de enfermedades gastrointestinales. En conclusión, el estudio confirma que la expansión territorial y las características fisicoquímicas adversas del río coinciden de manera crítica con la percepción de la población, lo que revela una alteración ambiental significativa generada principalmente por la minería.

Finalmente, en una investigación desarrollada por Loza y Ccancapa (2020) que se llevó a cabo en la localidad de La Rinconada, Puno, y tuvo como propósito primordial evaluar la contaminación por mercurio que afecta al arroyo Lunar de Oro, producto directo de la actividad

minera aurífera artesanal. Para este fin, los investigadores implementaron una metodología rigurosa que consistió en la recolección de muestras de agua superficial y sedimentos en cuatro puntos estratégicos a lo largo del cauce, con muestreos realizados durante diciembre de 2014, enero y marzo de 2015. El análisis del mercurio se efectuó mediante la técnica de espectrofotometría de fluorescencia atómica (EPA 245.2), complementada con la medición in situ de parámetros fisicoquímicos cruciales como el pH, el oxígeno disuelto, los sólidos disueltos totales, la temperatura y la conductividad eléctrica. Por consiguiente, los resultados del análisis hídrico revelaron la presencia de aguas altamente ácidas, con un pH promedio de solo 3,44, y niveles críticamente bajos de oxígeno (2,84 mg/L). Además, se constató que las concentraciones de mercurio en el agua superaron los límites máximos permisibles, tanto de la normativa peruana como de la canadiense, particularmente en el muestreo de marzo. No obstante, la situación en los sedimentos fue aún más alarmante, donde los niveles oscilaron entre 9 y 373 mg/kg, excediendo los estándares internacionales en la totalidad (100%) de las muestras recolectadas. En consecuencia, la aplicación de los índices de riesgo ecológico y de geoacumulación permitió calificar el ecosistema del arroyo como extremadamente contaminado. En conclusión, el estudio subraya que el arroyo Lunar de Oro representa un riesgo excepcionalmente alto para la salud pública y la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Agua

La literatura especializada confirma que el agua constituye un recurso natural con capacidad intrínseca de autoregeneración, cuya trascendencia es insoslayable para la subsistencia de los ecosistemas globales y la vida en la Tierra. No obstante, su función se extiende más allá de ser un mero elemento biológico esencial; de hecho, se le cataloga como un bien altamente vulnerable que debe situarse al centro de la planificación estratégica de las políticas públicas. Por consiguiente, su gestión adecuada es indispensable no solo para conseguir el anhelado desarrollo sostenible, sino también para asegurar la continuidad de los complejos ciclos y sistemas naturales que dependen directamente de su presencia. De esta manera, la protección de este recurso vital se erige como un pilar fundamental para garantizar la estabilidad social y la seguridad hídrica del Estado (Ley N°29338, 2009).

El agua se utiliza para diversos fines, cada uno de los cuales requiere determinadas cualidades. Se pueden distinguir dos tipos de usos. Uno es el uso natural para la protección de ríos,

plantas, ecosistemas, transporte de sedimentos y reservas naturales. Usos humanos: doméstico, recreativo, agrícola, ganadero, minero, industrial, energético, etc (Fernández, 2012).

2.2.2. Calidad de Agua

La calidad del agua constituye un ámbito de análisis ampliamente explorado y de suma importancia dentro de la literatura científica. De hecho, la definición más común y universalmente aceptada en este campo se refiere intrínsecamente al conjunto de atributos, tanto físicos como químicos y biológicos, que el recurso hídrico posee en un momento determinado. Por consiguiente, esta conceptualización abarcadora es la base para cualquier evaluación de su aptitud para un uso específico o su estado ecológico. Es fundamental notar que esta perspectiva es refrendada por organismos internacionales de alta autoridad, como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual ya en el año 2018 consolidó este entendimiento como la referencia estándar global para la monitorización y gestión de los recursos hídricos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018).

La calidad del agua constituye uno de los ejes temáticos fundamentales en la gestión integral de los recursos hídricos, dada su implicancia en la sostenibilidad ambiental y la salud pública. Su clasificación se fundamenta en un análisis pormenorizado de su pureza y, en contraposición, de su grado de impureza. De esta manera, esta evaluación se lleva a cabo mediante el examen de sus propiedades esenciales, que abarcan las características físicas, químicas y microbiológicas. Por consiguiente, es imperativo considerar una diversidad de factores y parámetros inherentes a estas propiedades, ya que son cruciales para determinar la aptitud del agua para un uso específico y para establecer su estado ecológico, tal como lo enfatizan autores como Pérez et al. (2018).

La calidad del recurso hídrico se conceptualiza como un proceso evaluativo destinado a discernir la idoneidad del agua para una aplicación específica, fundamentado en la meticulosa selección y análisis de sus atributos inherentes, ya sean de naturaleza física, química o biológica. Para ejecutar esta evaluación de manera rigurosa, los investigadores deben iniciar con la cuantificación y el examen exhaustivo de parámetros cruciales, tales como el régimen térmico, la concentración de sólidos disueltos (minerales) y el índice de proliferación microbiana. Posteriormente, y de forma crítica, los valores obtenidos son comparados meticulosamente con los criterios y directrices numéricas previamente establecidos por los organismos reguladores. En consecuencia, este cotejo sistemático es lo que permite dictaminar, de forma concluyente, si el agua

satisface las condiciones necesarias para el uso particular al que está destinada (U.S. Geological Survey, 2017).

2.2.3. Parámetros Fisicoquímicos, Metales y Parámetros Orgánicos

2.2.3.1. Parámetros fisicoquímicos

a. Potencial de Hidrogeno

El Potencial de Hidrógeno (pH) constituye un indicador esencial utilizado para cuantificar la concentración de iones hidronio (H^+) presentes en una muestra hídrica específica. Por consiguiente, este parámetro es crucial para determinar si una solución exhibe una naturaleza ácida o básica (alcalina). Dicha medición se rige por una escala logarítmica estandarizada que se extiende desde 0 hasta 14, donde el valor de 7 representa el punto de neutralidad química; esto es, un equilibrio entre la acidez y la alcalinidad. De esta manera, cualquier cuerpo de agua que registre un pH inferior a 7 es categorizado formalmente como ácido, mientras que aquellas soluciones que presentan un pH superior a 7 son, consecuentemente, clasificadas como básicas o alcalinas, tal como lo establece la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency, 2025).

El valor del pH afecta al equilibrio de diferentes sustancias químicas, que existen en diferentes formas dependiendo de la acidez, como por ejemplo la solubilidad de los metales. El rango de ácidos aptos para la vida es muy estrecha e importante, en aguas naturales tiene un valor de pH de 6-9 (Unidades de pH) Oxígeno Disuelto (Fernández, 2012).

b. Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto (OD) es un factor indispensable para que las bacterias aerobias, como la Legionella, puedan sobrevivir y desarrollarse, tanto en hábitats naturales como en los sistemas hídricos construidos por el ser humano. La incorporación de oxígeno al agua puede ocurrir por diversas vías, aunque la fuente primordial es la absorción de oxígeno desde la atmósfera. Este se disuelve hasta alcanzar un punto de equilibrio, difundiéndose de manera natural y constante en el agua. Ahora bien, en el contexto de los sistemas de agua artificiales, la cantidad de oxígeno disuelto se puede aumentar gracias a tratamientos comunes como la aireación, la presurización, la ozonización o la agitación del agua. Este aumento facilita directamente la respiración celular, el metabolismo y, por ende, el crecimiento de la bacteria Legionella (Krause, 2022).

La densidad del oxígeno disuelto en un cuerpo de agua guarda una relación directamente proporcional con la difusión del aire atmosférico presente en el medio circundante. No obstante, la aireación del agua es un proceso que depende inherentemente de la turbulencia generada por los saltos y movimientos del agua, y es también un resultado directo de la actividad fotosintética de las algas y plantas acuáticas. De manera similar, la concentración de oxígeno presenta una variación inversamente proporcional a la temperatura: a medida que esta aumenta, la capacidad del agua para retener el gas disminuye. Por consiguiente, la presencia elevada de grandes cantidades de bacterias incide negativamente en estas concentraciones, dado que su actividad metabólica consume el oxígeno, provocando una reducción considerable del mismo, lo cual puede desencadenar la eutrofización de las masas de agua. A escala general, los coeficientes de oxígeno disuelto oscilan entre 0 y 18 mg/L, siendo crucial para la diversidad acuática que la mayoría de los ecosistemas mantengan un mínimo de 5 a 6 mg/L. De esta manera, el agua considerada de muy buena calidad supera los 12 mg/L, mientras que las concentraciones que alcanzan menos de 5 mg/L indican una mala calidad y un estado crítico para la vida acuática, según lo establecido por (López et al., 2019).

c. Temperatura

La temperatura es reconocida como un parámetro físico crucial que ejerce un papel determinante en la dinámica de los ecosistemas acuáticos. Su relevancia radica en la capacidad intrínseca de este factor para acelerar o, por el contrario, reducir la velocidad a la que se desarrollan las reacciones químicas dentro del medio hídrico. Por consiguiente, el régimen térmico del agua influye de manera directa y significativa en la eficacia y el timing de los ciclos de degradación de la materia orgánica. De esta manera, esta influencia se extiende a los procesos que se llevan a cabo tanto en la columna de agua como en las zonas bentónicas, particularmente en los sedimentos del fondo, afectando la homeostasis del ecosistema en su conjunto, tal como lo enfatiza la (American Chemical Society [ACS], 2024).

Varios factores ambientales cambian la temperatura de una masa de agua. La T° es un parámetro físico que no impide el estudio de variables como la conductividad y el pH (Severiche et al., 2013).

d. Conductividad Eléctrica

La conductividad del agua es un indicador que nos ayuda a entender los cambios en la composición de los materiales y en la concentración iónica en general, siendo directamente proporcional a la cantidad de sal ionizable presente. Este parámetro nos proporciona

información valiosa sobre el grado general de mineralización de las aguas superficiales. Es importante notar que las temperaturas elevadas tienen un impacto, ya que afectan la movilidad de la sal y, por consiguiente, la conductividad eléctrica. El agua, en su estado natural, funciona como un disolvente eficaz para muchos solutos que se ionizan, ya sea total o parcialmente. Por lo tanto, un valor de conductividad alto puede ser señal de un pH normal o, lo que es más común, de altos niveles de salinidad (Toruan et al, 2023).

Se considera la conductividad eléctrica (CE) como una medida de sales disueltas en una solución. Cuando las plantas absorben los nutrientes, el valor de este parámetro disminuye, ya que hay menos sal. Al mismo tiempo, este valor aumenta a medida que el agua se elimina por evaporación o transpiración. Debe mantener un valor de 1150 – 1250 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Lema, 2017).

e. Sulfatos, Cloruros

Los sulfatos llegan a las aguas subterráneas principalmente debido a la disolución de yeso, que es un sulfato de calcio hidratado que no se disuelve fácilmente, con una solubilidad baja de 7 g/l en condiciones normales. En los acuíferos formados en la época del Eoceno, los niveles de sulfatos suelen encontrarse en el rango de 25 a 100 mg/l. Sin embargo, en ciertas áreas, estas concentraciones pueden sobrepasar el límite aceptable de 250 mg/l y, en capas con presencia de vetas de yeso, pueden incluso superar 1 g/l, una cifra que en ocasiones se rebasa y que hace que el agua ya no se considere potable. Por otro lado, en los acuíferos que se encuentran encerrados dentro de terrenos calizos, las concentraciones de sulfato tienden a ser moderadamente altas, oscilando entre 30 y 200 mg/l, aunque a veces también exceden los 250 mg/l (Chacón, 2016).

Parámetros con carga negativa, presentes en diferentes cuerpos de agua, asimismo, su presencia solo en concentraciones considerables representa un riesgo para la salud (Teves, 2016).

2.2.3.2. Parámetros Metálicos

a. Arsénico (As)

El arsénico (As) es un elemento que puede presentarse de forma natural como un componente intrínseco de los minerales de cobalto; no obstante, es más frecuente detectarlo en la superficie de las rocas, donde se encuentra enlazado al azufre o asociado a metales como el manganeso, hierro, cobalto, níquel, plata o estaño. La fuente mineral principal de este elemento es el sulfuroarsenuro de hierro (FeAsS), conocido comúnmente como arsenopirita o pirita arsénica. Además, el arsénico está presente en otros arseniuros metálicos como la lollingita (FeAs

2), la nicolita (NiAs), el cobalto brillante (CoAsS), la gersdorfitita (NiAsS) y la esmaltita (CoAs₂). Es fundamental señalar que las plantas absorben el arsénico con relativa facilidad, por lo cual este elemento puede alcanzar concentraciones considerables en los alimentos destinados al consumo humano. Por consiguiente, la presencia de altas concentraciones de arsénico inorgánico, la forma de mayor toxicidad, en las aguas superficiales incrementa el riesgo de generar alteraciones en el material genético de los peces. Esto se debe principalmente a que el arsénico se va bioacumulando progresivamente en los organismos de agua dulce que basan su dieta en el consumo de plantas. En consecuencia, las aves acuáticas que ingieren estos peces con cargas arsenicales elevadas pueden sufrir y, finalmente, morir por envenenamiento a medida que el pez contaminado se descompone internamente en sus cuerpos, lo que evidencia el impacto de la biomagnificación en la cadena trófica (Lenntech, 2019).

El arsénico se clasifica como un metal pesado que se distingue por su naturaleza inherentemente venenosa y extremadamente tóxica. Aunque su presencia en las fuentes hídricas puede estar relacionada con descargas de origen industrial o con el empleo de insecticidas y pesticidas, los estudios exhaustivos realizados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el año 2018 arrojaron un hallazgo crucial. Específicamente, en algunos de los puntos de muestreo monitoreados a lo largo de diversas cuencas hidrográficas, la ANA determinó que la causa principal de la presencia de arsénico se debe a los aportes litológicos propios de la zona. Por consiguiente, esto implica que la fuente del contaminante no es antropogénica, sino que radica en la composición geoquímica natural de las rocas y suelos del lugar, un fenómeno conocido como contaminación natural de origen geogénico (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2018).

b. Mercurio (Hg)

El mercurio (Hg) es un metal pesado que, si bien está presente de forma natural en el medio ambiente, se caracteriza por ser altamente tóxico. No obstante, es crucial señalar que, en la actualidad, la mayor fuente de sus emisiones proviene directamente de la actividad humana (antropogénica). Este elemento se libera al ambiente mediante causas naturales —tales como la erosión de las rocas y la actividad volcánica—, pero también a través de una diversidad de actividades humanas, entre las que destacan de forma significativa la minería artesanal y el uso y procesamiento de combustibles fósiles. Una vez que el mercurio es liberado a la atmósfera en estado gaseoso, se dispersa y posteriormente retorna a la superficie terrestre, cayendo al suelo o al agua en forma de gotas de lluvia, polvo o, simplemente, por efecto de la gravedad. A este proceso de retorno y asentamiento se le denomina formalmente deposición atmosférica (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA], 2021).

La presencia de mercurio en los sistemas acuáticos se atribuye mayormente a las intervenciones de origen antrópico, destacando la actividad minera como una de las fuentes principales. No obstante, es imprescindible reconocer que existen ciertas localizaciones geográficas donde, debido a su constitución natural, se encuentran depósitos intrínsecos de este metal pesado. Por consiguiente, y en contraste con la percepción de su ubicuidad, es relevante señalar que el mercurio, a escala global, no es un elemento que prolifere abundantemente en los entornos naturales. Esta dualidad subraya la importancia de diferenciar entre la contaminación generada por la acción humana y la concentración geogénica del mineral (ANA, 2018).

c. Aluminio (Al)

A pesar de ser el metal más abundante en la corteza terrestre y lunar, el aluminio nunca se presenta en su estado elemental o libre dentro de los entornos naturales. Su ubicuidad se manifiesta al estar presente en grandes proporciones en la biomasa vegetal y en la mayoría de las formaciones rocosas, particularmente en las rocas ígneas, donde se halla como componentes de los minerales de aluminosilicato. Por consiguiente, cuando estos minerales primarios sufren procesos de disolución, el aluminio exhibe la particularidad de precipitar, dando origen a la formación de arcilla mineral, hidróxido de aluminio o una mezcla de ambos, dependiendo intrínsecamente de las condiciones químicas del medio ambiente. Es precisamente bajo estas circunstancias que se origina la bauxita, considerada la materia prima fundamental para la producción industrial de aluminio. No obstante, los impactos de este elemento han cobrado especial relevancia investigativa, sobre todo aquellos problemas asociados a los procesos de acidificación. En este sentido, la bioacumulación de aluminio en las plantas puede desencadenar severos problemas de salud en los animales que las consumen. De hecho, las concentraciones de este metal suelen ser conspicuamente elevadas en los lagos acidificados. En estos ecosistemas acuáticos, se verifica una marcada reducción poblacional de peces y anfibios, dado que los iones de aluminio reaccionan adversamente con las proteínas branquiales de los peces y con los embriones de las ranas, generando toxicidad crítica (Lenntech, 2019).

A pesar de que el aluminio se posiciona como uno de los elementos más prevalentes en la composición terrestre, su concentración en las aguas naturales superficiales se mantiene, por lo general, en niveles exigüos. Esta aparente disparidad se explica debido a que, si bien el aluminio forma parte de una extensa gama de rocas, minerales y arcillas —lo que asegura su presencia universal en todos los cuerpos de agua superficiales—, su solubilidad y, consecuentemente, su concentración, rara vez sobrepasan un rango que oscila entre unas pocas décimas y 1 mg/L cuando el pH del medio acuático se sitúa cerca de su valoración neutra o natural.

Por consiguiente, las condiciones de pH son un factor crítico que modula la disponibilidad del metal en la hidrósfera (ANA, 2018).

d. Hierro (Fe)

El hierro se caracteriza por ser un agente reductor sumamente eficaz que, según las condiciones ambientales y químicas, puede experimentar procesos de oxidación para alcanzar los estados divalentes (2+), trivalente (3+) o hexavalente (6+). En la vasta mayoría de los compuestos que forma, este metal suele presentarse como una entidad discreta en la forma del ion ferroso, o hierro (II), o bien como el ion férrico, o hierro (III). Por otra parte, una de sus configuraciones, específicamente el arsenito de hierro (III) pentahidratado, constituye una preocupación ambiental significativa, exigiendo una vigilancia rigurosa en lo que respecta a su interacción con los ecosistemas edáficos, atmosféricos e hídricos. En consecuencia, se enfatiza la necesidad imperante de impedir su liberación en el medio ambiente, dado que este compuesto manifiesta una alta persistencia y plantea un riesgo sostenido para la salud de los ecosistemas (Lenntech, 2019).

A pesar de que el hierro se cuenta entre los elementos metálicos de mayor prevalencia en la composición de la corteza terrestre, es una constante que su concentración en los sistemas hídricos naturales sea generalmente exigua. La forma específica en la que se manifiesta el metal, así como su nivel de solubilidad dentro del medio acuático, están intrínsecamente supeditados a la influencia determinante de dos parámetros fisicoquímicos cruciales: el pH y el potencial de óxido-reducción. En este sentido, el hierro se presenta comúnmente en la naturaleza en sus estados de oxidación +2 y +3. Por consiguiente, su aparición y permanencia dentro de las aguas naturales se atribuyen primariamente a los aportes derivados de la geología y la composición intrínseca del emplazamiento geográfico en cuestión (ANA, 2018).

e. Plomo (Pb)

El plomo, designado por el símbolo químico Pb y caracterizado por un número atómico de 82, se clasifica como un metal pesado. Destaca por poseer una densidad relativa considerable, cifrada en 11.4 g/ml, y exhibe inicialmente una coloración gris azulada que, al interactuar con el ambiente, transiciona rápidamente hacia un distintivo gris metálico. Por consiguiente, sus propiedades físicas lo distinguen; es notablemente flexible e inelástico a la vez. Adicionalmente, este elemento presenta un bajo punto de fusión, fundiéndose con facilidad a una temperatura de 327.4 °C, si bien requiere ascender hasta los 1725 °C para alcanzar su punto de

ebullición. De esta manera, esta combinación de maleabilidad, alta densidad y accesibilidad térmica ha influido históricamente en sus diversas aplicaciones industriales (Lenntech, 2019).

Si bien el plomo (Pb) se considera un elemento de importancia secundaria en la composición geoquímica global de la corteza terrestre, su presencia se halla ampliamente dispersa en bajas concentraciones a lo largo de rocas sedimentarias y suelos inalterados que no han sufrido contaminación antrópica. No obstante, en aquellos entornos donde se manifiestan condiciones de ligera acidez, el plomo puede experimentar una solubilización, lo cual facilita su movilización y, por consiguiente, su ingreso a los sistemas hídricos. En este sentido, es imperativo destacar que este metal pesado resulta tóxico para la biota acuática. Por otra parte, el grado de toxicidad que exhibe el Pb es significativamente variable, pues está intrínsecamente supeditado tanto a las características fisicoquímicas específicas de la calidad del agua (como el pH y la dureza) como a la sensibilidad particular de las especies biológicas objeto de estudio (ANA, 2018).

f. Zinc (Zn)

El zinc es un elemento que se halla de forma natural en el agua. En el agua de mar, su concentración promedio oscila entre los 0.6 y 5 partes por billón (ppb). Por otro lado, los ríos normalmente registran niveles un poco más altos, situándose entre 5 y 10 ppb. Sin embargo, en la vida acuática, la concentración es notablemente superior: las algas pueden contener de 20 a 700 partes por millón (ppm); los peces marinos y crustáceos, de 3 a 25 ppm; las langostas, de 7 a 50 ppm; y las ostras destacan con concentraciones que van de 100 a 900 ppm. Respecto a la normativa, la Organización Mundial de la Salud ha fijado un límite legal de 5 mg/L (Carbotecnia, 2023).

A pesar de que el zinc se caracteriza por ser un elemento sumamente común dentro de la composición de la litosfera, encontrándose en diversas rocas y minerales, su concentración en los sistemas hídricos naturales tiende a ser notoriamente reducida. Esta situación es atribuible directamente a la baja solubilidad inherente al metal. De esta manera, se halla típicamente en concentraciones mínimas o de trazas en la vasta mayoría de las aguas superficiales que poseen un pH en el rango alcalino. No obstante, cuando el medio acuático experimenta un descenso en su pH, volviéndose ácido, se observa un incremento significativo en la concentración de zinc. Por consiguiente, la acidez del agua se establece como un factor determinante en la movilización y disponibilidad de este metal pesado en la hidrósfera (ANA, 2018).

g. Cadmio (Cd)

El cadmio (Cd), identificado con el número atómico 48, se cataloga como un elemento químico relativamente escaso que manifiesta una estrecha afinidad química con el zinc natural. Es un metal dúctil que exhibe una coloración blanco plateado matizada por un leve tono azulado. En lo concerniente a sus propiedades físicas, el cadmio resulta ser más blando y maleable que el zinc, aunque su dureza es ligeramente superior a la del estaño. Su masa atómica registrada a 20 °C es de 112.40, con una densidad relativa de 8.65. Adicionalmente, este elemento presenta un punto de fusión bajo, cifrado en 320.9 °C, y un punto de ebullición de 765 °C, siendo esta última temperatura notablemente inferior a la del zinc. En el ámbito natural, se han identificado ocho isótopos con estabilidad nuclear, mientras que en entornos de laboratorio se han sintetizado once isótopos radiactivos inestables. Por consiguiente, su ubicación en el grupo IIb de la tabla periódica (junto al zinc y el mercurio) subraya su relación; en soluciones ácidas de sulfato, sus propiedades químicas son intermedias a las del zinc metálico. Finalmente, en la totalidad de sus compuestos estables, el cadmio opera de forma divalente y sus iones permanecen incoloros (Lenntech, 2019).

En el entorno natural, el cadmio (Cd) se encuentra predominante en forma de sulfuro y, con frecuencia, actúa como una impureza asociada que acompaña intrínsecamente a los minerales de zinc y plomo. No obstante, la aparición de concentraciones de este metal pesado en las masas de agua superficiales es atribuible, de manera fundamental, a las actividades antrópicas, siendo la minería y los procesos de fundición las fuentes principales de su liberación. Por consiguiente, a pesar de su origen geológico secundario, el incremento de cadmio en la hidrósfera constituye un claro indicador de la intervención humana, lo que subraya la necesidad de una gestión rigurosa de los efluentes industriales (ANA, 2018).

h. Cobre (Cu)

El cobre puro en su estado sólido se clasifica como un metal comparativamente denso, registrando una densidad de 8.96 g/cm³ a 20°C. No obstante, la densidad de su presentación comercial tiende a ser variable, oscilando típicamente en un rango de 8.90 a 8.94 g/cm³, cifra que depende intrínsecamente del proceso de fabricación empleado. Sus características térmicas son notables, evidenciando un punto de fusión de 1083.0±0.1°C y un punto de ebullición normal considerablemente superior, que se eleva hasta los 2595°C. En lo referente a su comportamiento magnético, el cobre carece de propiedades ferromagnéticas; más precisamente, se le define como ligeramente paramagnético. Por consiguiente, es crucial destacar su nula degradación en el ambiente, lo que le confiere una alta persistencia y capacidad de bioacumulación en la flora y fauna cuando se encuentra en los suelos. Esta característica limita severamente la

diversidad de la flora en sustratos enriquecidos con cobre, permitiendo la supervivencia únicamente a una población reducida de especies. En consecuencia, la baja diversidad vegetal es un fenómeno recurrente en las proximidades de las plantas de procesamiento de cobre, lo que representa una amenaza significativa para la producción agrícola. De hecho, el cobre tiene el potencial de afectar gravemente el procesamiento de ciertas tierras de cultivo, siendo la acidez del suelo y la presencia de materia orgánica factores moduladores críticos. A pesar de estos riesgos documentados, se mantiene la práctica de utilizar fertilizantes orgánicos como el estiércol que contienen cobre (Lenntech, 2019).

A pesar de la amplia distribución del cobre en las cuencas hidrográficas, la gran mayoría de sus minerales asociados demuestran una solubilidad comparativamente baja. Por consiguiente, y dado que este metal exhibe una marcada tendencia a ser absorbido en la fase sólida del ecosistema (como sedimentos o materia orgánica), solo se detecta en bajas concentraciones dentro de los sistemas de aguas naturales. De esta manera, la presencia de niveles inusualmente elevados de cobre en las aguas naturales superficiales se convierte en un indicador crítico, pues suele ser un resultado directo de la descarga de desechos industriales y de las actividades de minería. En consecuencia, el factor determinante de la concentración de cobre en la hidrósfera pasa de ser su abundancia geológica a la influencia de las intervenciones antrópicas (ANA, 2018).

2.2.3.3. Parámetros orgánicos

a. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se define como la cantidad precisa de oxígeno que resulta indispensable para la descomposición química total de los compuestos orgánicos presentes en una muestra de agua, proceso que se ejecuta mediante la aplicación de agentes oxidantes de alta potencia. Por consiguiente, esta metodología de análisis posibilita la determinación del contenido global de materia orgánica del agua, incluyendo de forma crucial aquellas sustancias que son resistentes a la biodegradación por acción bacteriana (si bien se excluyen ciertos compuestos inorgánicos específicos). De esta manera, la DQO se establece como una herramienta analítica esencial para obtener un panorama integral y completo de la contaminación global del recurso hídrico, específicamente aquella atribuible a la presencia de constituyentes orgánicos (Bueno, 2021).

La materia orgánica que está inmersa en los cuerpos de agua es sometida a un proceso natural de biodegradación que es catalizado por la acción de diversos

microorganismos, los cuales prosperan y son funcionales en un ambiente aerobio, es decir, que contiene oxígeno disuelto. En este contexto, la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅) se constituye como el indicador estándar utilizado para cuantificar el requerimiento de oxígeno específico que será consumido durante la descomposición bioquímica de las sustancias orgánicas presentes en la muestra hídrica. Por consiguiente, esta medición no solo permite estimar la carga de materia orgánica susceptible de ser degradada biológicamente, sino que también ofrece una valoración crucial del impacto potencial que tendrá dicha materia en los niveles de oxígeno disuelto del ecosistema acuático (López et al., 2019).

b. Demanda química de oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se define conceptualmente como el volumen preciso de oxígeno que es indispensable para lograr la oxidación química total de los constituyentes orgánicos presentes en una muestra hídrica, un proceso que se lleva a cabo mediante la aplicación controlada de reactivos oxidantes de alta potencia. Por consiguiente, esta técnica de medición analítica permite la determinación exhaustiva de la carga global de materia orgánica del agua, incluyendo de manera fundamental aquellas sustancias que poseen una alta resistencia a la biodegradación por vía microbiana (aunque es preciso señalar que excluye la contribución de ciertos compuestos inorgánicos). De esta manera, la DQO se erige como un instrumento de diagnóstico fundamental para obtener una perspectiva integral y completa del grado de contaminación total del recurso hídrico, específicamente aquella generada por la presencia de compuestos de naturaleza orgánica (Bueno, 2021).

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se emplea sistemáticamente como una métrica para determinar el equivalente de oxígeno que representa la carga total de materia orgánica existente en una muestra acuática. Por consiguiente, esta variable es fundamental, ya que permite realizar una evaluación rápida y precisa del nivel de contaminación que afecta a los cuerpos de agua superficiales. Dicha contaminación, en gran medida, es atribuible a diversos orígenes. Entre estos factores, se incluyen primariamente las aguas residuales, los efluentes industriales con composición orgánica y las descargas provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales (sean estas de origen doméstico o industrial) que conservan un alto contenido de materia orgánica residual. De esta manera, la DQO actúa como un indicador de alerta temprana para monitorear la calidad hídrica y la eficiencia de los procesos de depuración (ANA, 2018).

2.2.4. Estándares de calidad ambiental para agua

En consonancia con lo estipulado por la Ley General del Ambiente, a todo ciudadano le asiste el derecho inalienable a desarrollarse plenamente en un entorno que sea intrínsecamente salubre, equilibrado y plenamente apto para la consecución de su bienestar integral. Simultáneamente, se establece la obligación cívica de participar de manera proactiva en la gestión ambiental efectiva y en la tutela del medio ambiente. Por consiguiente, para concretar este propósito dual de derecho y responsabilidad, la autoridad ambiental de ámbito nacional colabora estrechamente con las entidades sectoriales competentes en el diseño, la ejecución y el seguimiento de planes estratégicos. Estos instrumentos están dirigidos específicamente a optimizar la calidad ambiental y a prevenir daños irreversibles en aquellos ecosistemas o zonas geográficas que han sido catalogadas como más vulnerables (Ley General del Ambiente N.º 28611, 2005).

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) aplicables al recurso hídrico, formalizados a través del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, cumplen la función esencial de indicadores referenciales del estado de la calidad ambiental. Dichos estándares se conciben para cuantificar la concentración de diversos elementos, sustancias u otros constituyentes inherentes a distintos factores ambientales, incluyendo el agua. Por consiguiente, su objetivo primordial consiste en establecer metas regulatorias que definan el umbral límite a partir del cual una determinada concentración podría generar un impacto adverso significativo, tanto en la integridad de los ecosistemas como en la salud pública. De esta manera, los ECA sirven como un instrumento preventivo clave para la gestión ambiental nacional (Ley N.º 28611, 2005).

La crucial labor de vigilancia y monitoreo de la calidad del recurso hídrico se implementa siguiendo rigurosamente las disposiciones contenidas en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, instrumento técnico que fue aprobado mediante la Disposición Jefatural N.º 010-2016-ANA. Por consiguiente, los valores de referencia utilizados para la evaluación se encuentran establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, definidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. En este contexto regulatorio, la Tabla 1 (la cual será detallada a continuación) especifica los ECA correspondientes a la categoría 3, la cual agrupa aquellos usos de agua relacionados con las actividades productivas primarias, abarcando las subcategorías D1 (riego de vegetales) y D2 (bebida de animales). De esta manera, se asegura la coherencia metodológica y la aplicación de criterios específicos para la protección de la salud vegetal y animal (Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, 2017).

Tabla 1. Estándares de calidad ambiental para agua – categoría 3

		ECA's D.S N°004-2017 MINAM	
Parámetros	Unidad	Categoría 3	
		D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
pH	Unid. pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Temperatura	°C	Δ3	Δ3
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 4	≥ 5
Conductividad eléctrica	μS/cm	2 500	5 000
Sulfatos	mg/L	1 000	1 000
Cloruros	mg/L	500	**
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Mercurio	mg/L	0,001	0,01
Aluminio	mg/L	5	5
Hierro	mg/L	5	**
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Zinc	mg/L	2	24
Cobalto	mg/L	0,05	1
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cobre	mg/L	0,2	0,5
DBO	mg DBO/L	15	15
DQO	mg DQO/L	40	40

Fuente: D.S N°004-2017 MINAM.

2.2.5. Minería artesanal

Se cataloga como minería artesanal aquella actividad que se lleva a cabo en una extensión de terreno menor a 1,000 hectáreas o que maneja una capacidad de producción inferior a 25 toneladas métricas (TM) (Ley N.º 18880, 1971).

La minería artesanal se configura como una actividad de subsistencia que se caracteriza por un empleo intensivo de mano de obra. Por consiguiente, esta dinámica la transforma en una fuente esencial de generación de empleo directo y de beneficios productivos indirectos en las jurisdicciones donde se implementa. Dado que estas operaciones extractivas tienden a establecerse, con frecuencia, en las áreas geográficas más remotas y con los niveles más bajos de desarrollo nacional, terminan por consolidarse estratégicamente como verdaderos ejes o polos de desarrollo socioeconómico, dinamizando la economía local y sirviendo de alternativa en zonas desatendidas. De esta manera, su impacto trasciende la mera extracción, influyendo en la estructura demográfica y económica regional (Ley N.º 27651, 2002).

Si bien actividades productivas primarias como la minería, la ganadería y la agricultura ostentan una relevancia capital para la sustentación económica de la nación, la operación minera en particular, independientemente de su escala (sea artesanal, pequeña o de gran envergadura), provoca impactos adversos sustanciales en la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos. Esta problemática se origina fundamentalmente por una doble causalidad: primero, debido al consumo masivo de agua que es indispensable durante las fases de extracción y procesamiento del mineral; y segundo, a la severa contaminación resultante de la descarga de relaves y efluentes mineros directamente en las fuentes de agua superficial y subterránea. Por consiguiente, la gestión hídrica en zonas de explotación minera exige una vigilancia rigurosa para mitigar los riesgos asociados a la escasez y la alteración fisicoquímica del medio acuático (Avendaño, 2015).

2.2.6. Impacto de las actividades minero-artesanales en la calidad de agua

La actividad de la minería artesanal ha generado diversos impactos socioambientales. Entre ellos, destaca el desvío de fuentes de agua, originalmente destinadas a usos agropecuarios, hacia fines mineros; la consecuente contaminación de estas fuentes de agua; y los problemas en la gestión general del recurso hídrico en la cuenca.

El muestreo hídrico ejecutado en el río Tingo-Maygasbamba se realizó estratégicamente en secciones ubicadas aguas arriba y aguas abajo, lo cual permitió la determinación precisa, tanto a nivel cuantitativo como cualitativo, de un conjunto de parámetros fisicoquímicos y de metales. Entre estos parámetros se incluyen el Potencial de Hidrógeno (pH), la Turbidez y una serie de elementos traza, tales como Plomo (Pb), Arsénico (As), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn). Por consiguiente, el análisis subsiguiente reveló una conclusión crítica: las concentraciones detectadas de estos elementos y parámetros están provocando una alteración significativa en la calidad del agua, de tal magnitud que excede los límites máximos permisibles definidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). De esta manera, se corrobora un estado de contaminación que representa un riesgo potencial para la salud ambiental y ecosistémica del río (ECA's) (Garay y Núñez, 2020).

La intensa contaminación de origen humano observada en el Lago Poopó pone en evidencia la gran influencia de la actividad minera como responsable del impacto ambiental. Esta actividad contamina las aguas del Lago con drenajes ácidos y altas concentraciones de metales pesados. Las elevadas concentraciones de estos elementos terminan afectando negativamente a las comunidades y regiones que se encuentran a lo largo del trayecto de las subcuencas (Moya, 2020).

El presente estudio de investigación se centra en la minuciosa delineación de aquellos factores cruciales que ejercen una incidencia directa sobre el desarrollo socioeconómico y cultural de las comunidades originarias asentadas en la Amazonía peruana. Dentro de esta matriz de variables, se destacan tres ejes temáticos interrelacionados: en primer lugar, la problemática generada por la actividad extractiva de la minería ilegal; en segundo lugar, las características sociodemográficas y operacionales de los actores que ejecutan dicha actividad ilícita; y finalmente, las políticas y estrategias gubernamentales vigentes que han sido concebidas con el propósito de salvaguardar el medio ambiente. Por consiguiente, la investigación se articula en torno a la comprensión de cómo estos elementos influyen específicamente en la calidad de vida y el bienestar de estas poblaciones vulnerables, proporcionando una visión integral de los desafíos territoriales (Ordoñez, 2022).

2.2.7. Zona de mezcla

La zona de mezcla se conceptualiza como un volumen hídrico claramente delimitado dentro del cuerpo de agua receptor, donde el vertimiento del efluente experimenta un proceso de dilución efectiva, mediado fundamentalmente por procesos hidrodinámicos y de dispersión. Este concepto parte de la premisa de que la capacidad de asimilación del medio acuático se basa exclusivamente en fenómenos físicos de transporte, ignorando temporalmente los procesos de transformación biogeoquímica para simplificar el análisis inicial. Para la modelación de esta dilución, se considera estrictamente la dinámica física de mezcla, y se excluye la consideración de otros fenómenos como la asimilación de materia orgánica, el decaimiento bacteriano, la sedimentación o la precipitación química. Esta exclusión metodológica permite a los modeladores y autoridades ambientales centrarse en el peor escenario posible desde la perspectiva del transporte de contaminantes. Por consiguiente, el propósito primario de delimitar esta zona es designar una región espacial restringida que garantice la homogeneización total del efluente con el agua del cuerpo receptor, maximizando así su capacidad natural de dilución y asimilación (como se ilustra en la Figura 1). En consecuencia, al ser un espacio destinado a la dilución, la zona de mezcla constituye un sector hídrico donde se tolera que las concentraciones de contaminantes excedan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Agua) durante un tiempo y espacio limitados, bajo condiciones hidrológicas críticas predefinidas. De esta manera, se infiere lógicamente que el uso del agua contenida dentro de esta área debe ser estrictamente restringido o evitado (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2017).

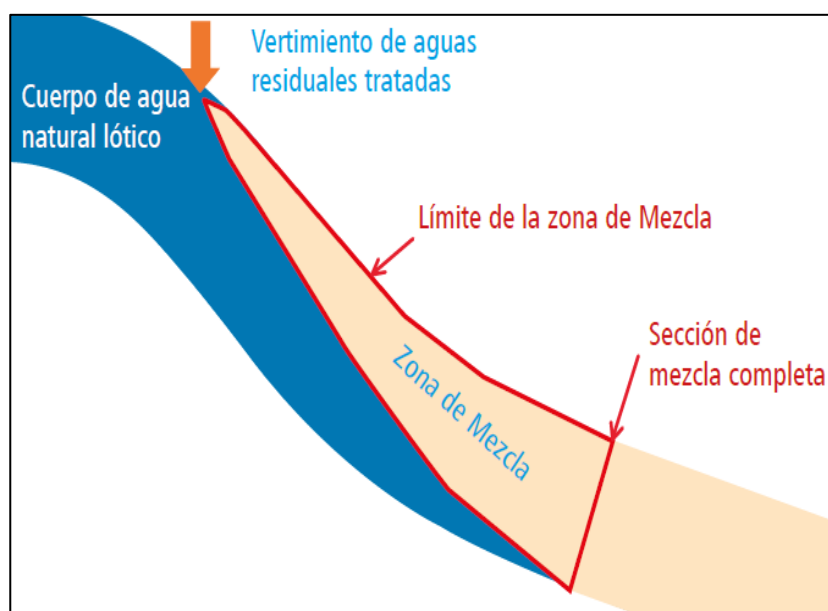


Figura 1. Esquema conceptual de la zona de mezcla en cuerpos naturales de agua lóxico

La extensión espacial de la zona de mezcla no posee una dimensión predeterminada, sino que es una variable que está intrínsecamente condicionada por la interacción de múltiples factores. En primer lugar, es crucial la ubicación precisa del punto de descarga del efluente, lo cual incluye si el vertimiento se realiza desde la orilla o en la sección central, y si se efectúa en la superficie o en el fondo del cuerpo receptor. Adicionalmente, la delimitación de esta zona está determinada por las características hidráulicas del sistema receptor, la intensidad de la turbulencia presente en la masa de agua, la velocidad de flujo longitudinal y la profundidad promedio del cauce. Finalmente, la morfología del lecho hídrico es un factor determinante que modula de manera significativa los procesos de dispersión. Por consiguiente, la evaluación y modelización de la zona de mezcla exige un análisis detallado de todos estos parámetros fisicoquímicos e hidrodinámicos, asegurando una caracterización precisa de la dilución (ANA, 2017).

2.2.8. Índice de calidad de agua (ICA – PE)

De manera análoga a otros indicadores de gestión, el Índice de Calidad del Agua (ICA) se constituye como una herramienta métrica fundamental para la evaluación sistemática de diversos elementos ambientales. Este índice posibilita la determinación y el seguimiento temporal de la calidad de las masas de aguas superficiales y subterráneas. Para establecer la condición precisa de cualquier elemento hídrico analizado, el ICA considera de forma integradora la recopilación y el análisis de datos de naturaleza física, química y biológica. Por consiguiente, el objetivo trascendental de esta evaluación continua es definir el nivel actual de la calidad hídrica y su grado de vulnerabilidad, lo que resulta indispensable para identificar, prever y neutralizar cualquier

amenaza potencial que comprometa la integridad del recurso. De esta manera, el ICA facilita la toma de decisiones estratégicas en materia de protección y gestión ambiental (Novoa, 2021).

El Índice de Calidad del Agua se utiliza para señalar el nivel de contaminación de una masa de agua, y su resultado se expresa como un porcentaje que indica qué tan cerca está de ser agua pura. Una de las grandes ventajas de usar índices es que reducen la cantidad de parámetros necesarios para el análisis, lo que simplifica la información y facilita su entendimiento. Además, si estos indicadores se diseñan correctamente, los valores que se generan reflejan el verdadero nivel de contaminación y permiten compararlos con otros indicadores para reconocer patrones y tendencias (Reátegui, 2017).

En el marco de la Resolución Jefatural N.º 068-2018-ANA, los Índices de Calidad de Agua (ICA) se definen como un instrumento matemático de gran alcance diseñado para integrar la información procedente de una multiplicidad de parámetros fisicoquímicos y biológicos. Por consiguiente, su función esencial es condensar grandes volúmenes de datos analíticos en una escala de medición única y estandarizada, lo cual facilita significativamente la interpretación de la calidad hídrica. Específicamente, el procedimiento para la cuantificación del índice ICA-PE (Índice de Calidad de Agua-Perú) se encuentra organizado en una estructura metodológica tripartita, cuyas etapas sucesivas son detalladas y esquematizadas en la Figura 2. De esta manera, se asegura una aproximación sistemática y reproducible para la evaluación integral de los recursos hídricos superficiales.

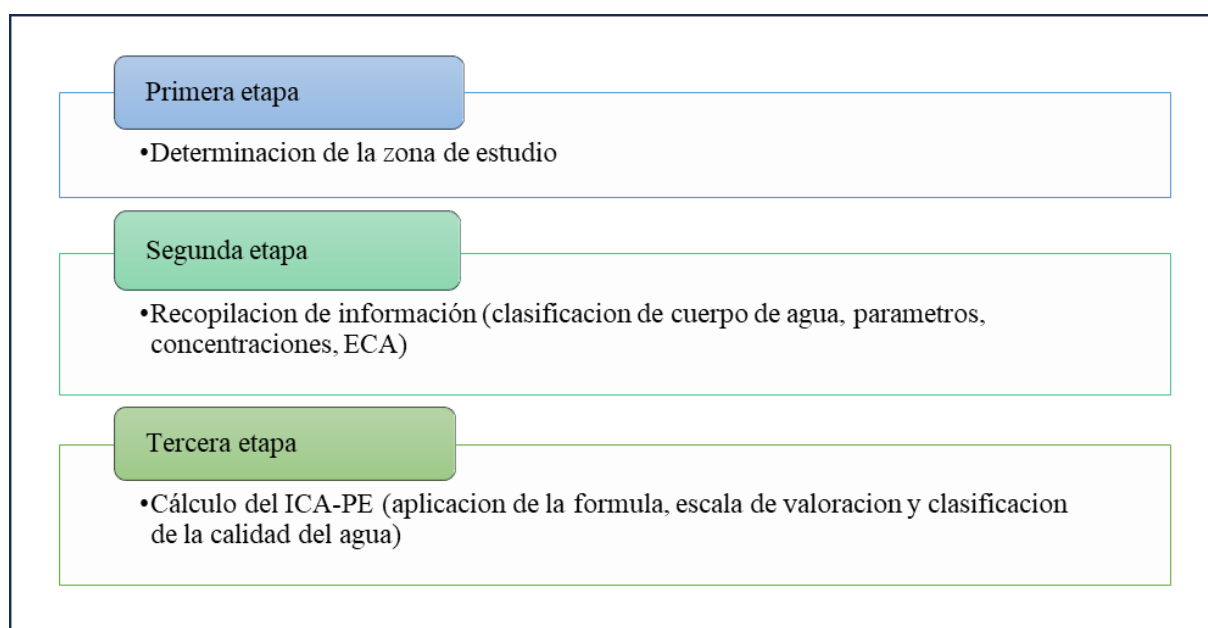


Figura 2. Etapas para el cálculo del índice de calidad de agua ICA-PE

El Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) se constituye como una herramienta matemática sofisticada cuyo objetivo primordial es la integración de datos provenientes de una amplia gama de parámetros fisicoquímicos y biológicos. Por consiguiente, este mecanismo analítico tiene la capacidad de condensar volúmenes variables de información —desde muestras pequeñas hasta grandes conjuntos de datos— en una escala de medición única y estandarizada para la calidad hídrica. Una de sus ventajas fundamentales radica en su habilidad para comunicar información compleja sobre el estado del recurso hídrico de una manera sencilla, práctica y accesible, tanto para las autoridades reguladoras competentes como para el público en general. Adicionalmente, el ICA-PE optimiza la identificación y comparación de las condiciones de calidad del agua, lo cual resulta esencial para discernir tendencias evolutivas a lo largo del tiempo y para establecer contrastes entre distintas ubicaciones geográficas. La valoración final de la calidad se realiza en una escala numérica que oscila entre 0 y 100, donde el valor de 0 denota la peor calidad y 100 representa una calidad hídrica óptima o excelente (ANA, 2018).

Para calcular el Índice de Calidad de Agua (ICA-PE), se emplea la fórmula canadiense, la cual se basa en tres factores principales: alcance, frecuencia y amplitud. Al aplicar esta fórmula, se obtiene un valor único que oscila entre 0 y 100, y que finalmente representa el estado de la calidad del agua en un punto específico de monitoreo, un río o una cuenca completa (ANA, 2018).

A continuación, se detalla la fórmula matemática empleada para la determinación precisa de los valores numéricos que componen el índice final dentro del esquema metodológico conocido como ICA-PE.

$$\text{ICA} = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732}$$

Donde:

F1 (Alcance): Numero de parámetros que no cumplen el ECA – Agua, respecto al número total de parámetros a evaluar:

$$F_1 = \frac{\# \text{ de parametros que no cumplen los ECA Agua}}{\# \text{ total de parametros a evaluar}}$$

F2 (Frecuencia): Cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental ECA-Agua, respecto al total de datos de los parámetros a evaluar (datos que corresponden a los resultados de un mínimo de 4 monitoreos).

$$F_2 = \frac{\# \text{ de parámetros que NO cumplen el ECA Agua de los datos evaluados}}{\# \text{ total de datos evaluados}}$$

F3 (Amplitud): Es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F_3 = \frac{\text{Suma normalizada de excedentes}}{\text{Suma normalizada de excedentes} + 1} \times 100$$

En donde, la suma normalizada de excedente (nse):

$$\text{nse} = \text{Suma normalizada de excedente} = \frac{\sum \text{excedentes}}{\text{Total de datos}}$$

El excedente constituye el índice numérico que se determina para cada parámetro específico y cuya función principal es cuantificar la disparidad entre la magnitud observada del dato registrado y el límite máximo permisible establecido en el Estándar de Calidad Ambiental para el Agua (ECA-Agua). Por consiguiente, este valor refleja la superación de la normativa ambiental vigente.

El primer escenario se presenta cuando la concentración real del parámetro químico evaluado supera el límite máximo preestablecido por el ECA-Agua. Bajo esta condición, el proceso de cálculo del valor de excedente se ejecuta del modo que se describe a continuación:

$$\text{Excedente}_i = \left(\frac{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}} \right) - 1$$

El segundo supuesto se materializa cuando la concentración de un determinado parámetro resulta inferior al umbral fijado en el ECA-Agua, configurando, no obstante, un incumplimiento de la condición normativa explícitamente requerida por dicho estándar. En consecuencia, la determinación del valor de excedente se efectúa mediante la metodología que se detalla a continuación. Esta situación se ilustra claramente con variables como el oxígeno disuelto (que exige una concentración superior a 4 mg/L) o el pH (el cual requiere un rango comprendido entre 6.5 y 8.5):

$$\text{Excedente}_i = \left(\frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}} \right) - 1$$

Una vez que se han determinado los valores numéricos para cada una de las dimensiones específicas (F1, F2 y F3), se continúa con el cálculo definitivo del Índice de Calidad del Agua. El resultado de esta operación analítica es una magnitud adimensional que se ubica en

un intervalo que oscila entre 0 y 100. Por consiguiente, este índice fundamental permite establecer cinco categorías distintas, las cuales se visualizan a través de una escala cromática. Estos rangos funcionan como niveles de sensibilidad que expresan y categorizan el estado hídrico, comprendiendo las clases pésimo, malo, regular, bueno y excelente, como se muestra detalladamente en la Tabla 2.

Tabla 2. Rangos y calificación cualitativa del índice de calidad del agua (ICA-PE) según Resolución Jefatural N°068-2018 ANA.

ICA - PE	Calificación	Color	Interpretación
90 – 100	Excelente	Azul	La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
75 – 89	Bueno	Celeste	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
45 – 74	Regular	Verde	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
30 – 44	Malo	Amarillo	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones están amenazadas o dañadas. Mucho de los usos necesitan tratamiento.
0 - 29	Pésimo	Rojo	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

Fuente: Resolución Jefatural N°068-2018 ANA.

Esta representación cualitativa se estructura mediante una escala cromática, la cual asigna un color específico a cada categoría o nivel de evaluación. Este sistema de codificación por colores permite visualizar de manera inmediata y simplificada la información compleja. De este modo, se facilita una comprensión intuitiva de los datos, donde, por ejemplo, el rojo puede indicar "pésimo" y el verde una condición "regular". Esta metodología mejora significativamente la legibilidad y el análisis visual de los resultados.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

En esta investigación, nos enfocamos en un tramo del río Oscocachi para nuestro estudio, ubicado en una zona clave del sur de Perú. Específicamente, el área de trabajo se encuentra en el distrito de Ollachea, dentro de la provincia de Carabaya, en el departamento de Puno tal como se puede apreciar en la Figura 3.

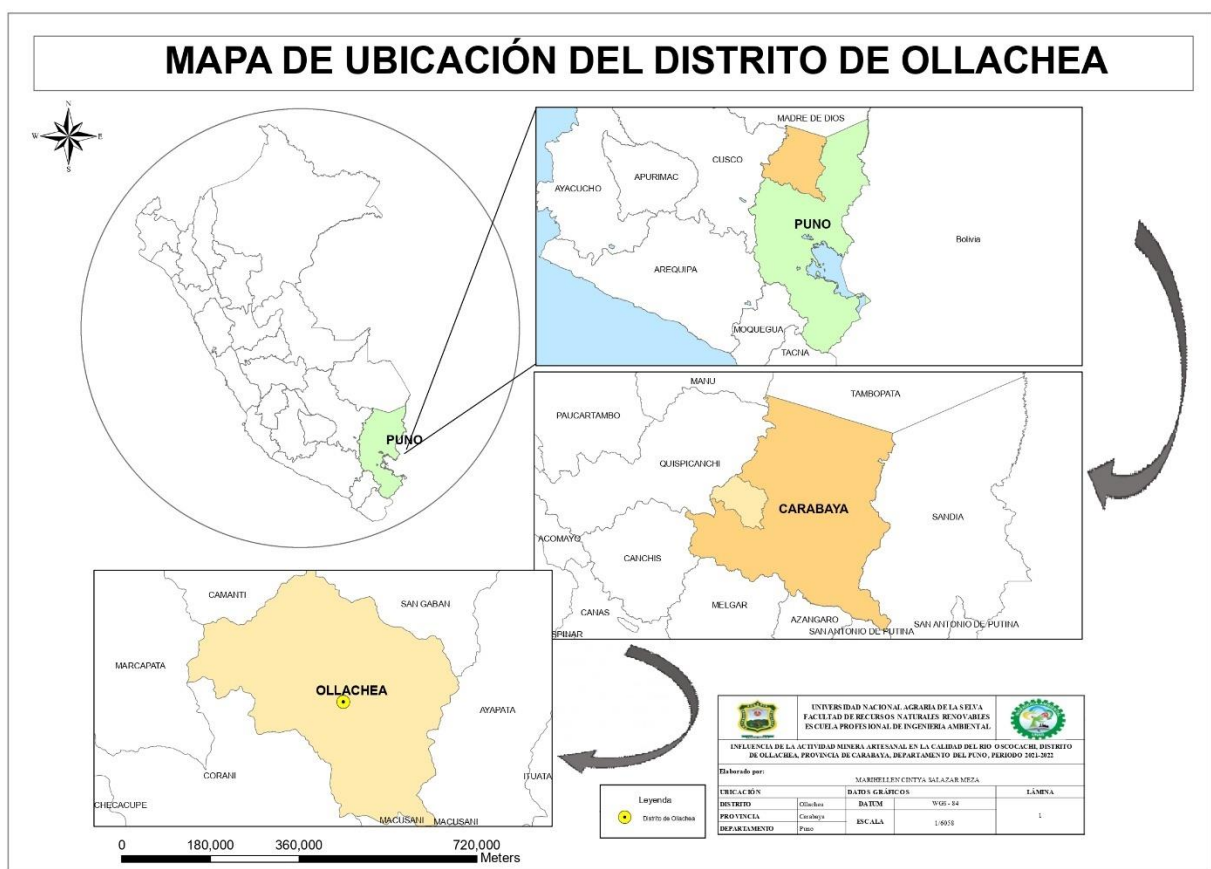


Figura 3. Ubicación política del distrito de Ollachea, provincia de Carabaya, departamento de Puno.

3.1.2. Ubicación geográfica

El desarrollo del presente estudio se enmarcó dentro del sistema de coordenadas universales UTM, empleando el datum WGS84 como referencia geodésica global. La Tabla 3 presenta un punto central o representativo de la extensión geográfica total del segmento fluvial analizado en el distrito de Ollachea, provincia de Carabaya, departamento de Puno. A lo largo de

este tramo, se definieron puntos específicos de interés para la recolección de datos, seleccionados estratégicamente para capturar la dinámica de los parámetros evaluados en diferentes segmentos del río.

Tabla 3. Coordenadas de referencia general del tramo de estudio del río Oscocachi

	Coordenadas UTM (WGS84-19L)		Altitud (msnm)
	Este (m)	Norte (m)	
Río Oscocachi	339367	8474070	3002

Para evaluar el estado de la calidad del agua en el río Oscocachi, se estableció una serie de estaciones de monitoreo a lo largo de su cauce, cuyos detalles específicos, como coordenadas y criterios de selección, se consignan en la Tabla 4. La selección de estos puntos respondió a un diseño sistemático que consideró tanto la accesibilidad logística como la representatividad de las distintas microcuencas aportantes y las áreas de influencia antrópica. La distribución espacial de estos puntos de muestreo, la cual fue fundamental para comprender la dinámica de los parámetros evaluados en diferentes segmentos del río, puede ser visualizada de manera integral en la Figura 4.

Tabla 4. Georreferencia de las estaciones de monitoreo en coordenadas UTM

Estación de Monitoreo	Código	Descripción	Coordenadas UTM (WGS84-19L)		Altitud (msnm)
			Este (m)	Norte (m)	
ASUP-47	AA1	Río Oscocachi, 2.5 km aguas arriba de la comunidad minera	336821	8473730	3430
ASUP-50	AA2	Río Oscocachi, 1km aguas arriba de la comunidad minera	338087	8473927	3150
OS-9A	Aa1	Río Oscocachi, 1 km aguas abajo de la comunidad minera	339928	8474348	2661
ASUP-51	Aa2	Río Oscocachi, 2 km aguas debajo de la comunidad minera	341091	9474900	2687

Nota: Los códigos de estación (ASUP-47, ASUP-50, OS-9A, ASUP-51) corresponden a la nomenclatura utilizada por la empresa minera. Los códigos AA1, AA2, Aa1 y Aa2 fueron asignados en la presente investigación para fines de identificación en el estudio.

MAPA DE UBICACIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO

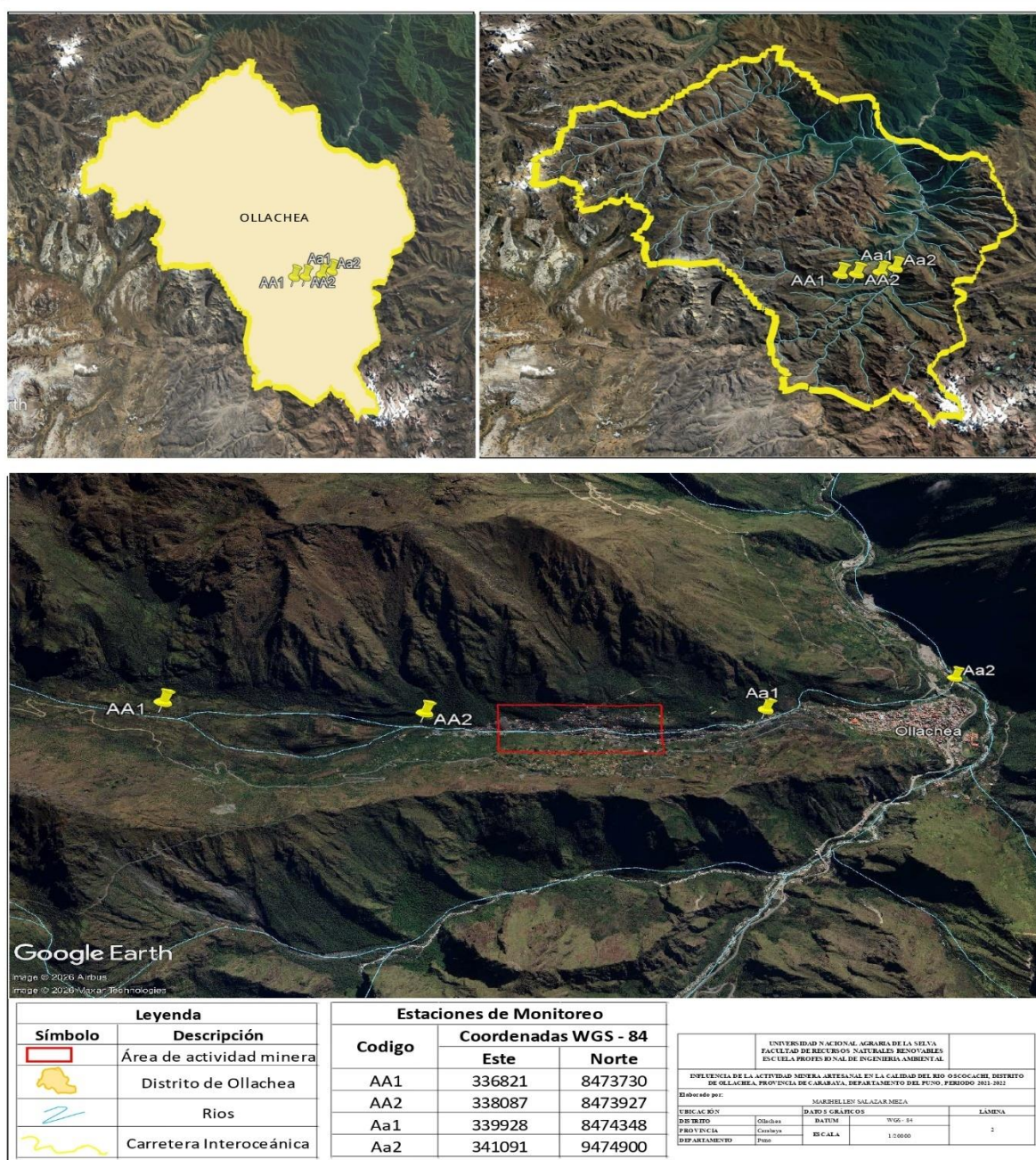


Figura 4. Ubicación de las estaciones de monitoreo.

3.1.3. Clima

El Distrito de Ollachea se caracteriza por un predominio climático templado y cálido, particularmente en sus valles, donde el registro térmico evidencia una temperatura máxima promedio anual de 18.47 °C y una mínima de 6.46 °C. Respecto al régimen pluviométrico, que presenta una media anual de 1179 mm, se distingue una marcada estacionalidad hidrológica

dividida en un periodo de precipitaciones, comprendido entre enero y julio, y una temporada seca o de estiaje que abarca de agosto a diciembre; esta diferenciación estacional resultó fundamental para establecer y justificar las fechas de los muestreos, permitiendo evaluar el comportamiento de los parámetros de calidad del agua tanto en condiciones de máximo caudal y dilución como en escenarios de flujo base. Este contexto climático se complementa con una humedad relativa media del 71% y un índice de radiación ultravioleta moderado, clasificado como 2 (SENAMHI PUNO, 2021).

3.2. Materiales y equipos

Para el desarrollo de las actividades de campo y laboratorio, se requirió de un conjunto de materiales y equipos especializados, entre los cuales se incluyeron elementos básicos de registro como cuaderno de apuntes y lapiceros, así como recipientes para muestreo como balde, jarra y frascos de PVC de litro y medio litro, complementados con preservantes y coolers para mantener la integridad de las muestras de agua. Asimismo, se utilizó equipo tecnológico de precisión, destacando un GPS marca Garmin para la georreferenciación, un multiparamétrico HACH-HQ40d para el análisis in situ de la calidad hídrica, y una cámara fotográfica para el registro visual, apoyándose todo el proceso en una laptop Lenovo para la gestión y el procesamiento inicial de la información recopilada.

3.3. Criterios de Investigación

3.3.1. Tipo de investigación

El estudio se caracterizó por adoptar un diseño de tipo descriptivo, el cual tuvo como propósito fundamental determinar y contrastar las condiciones naturales reales presentes en el entorno de estudio. Esta aproximación metodológica se implementó mediante la aplicación de una observación sistemática no participante, una técnica que permitió recopilar datos de manera objetiva y estructurada sin intervenir en la dinámica del fenómeno. El objetivo central de este proceso fue identificar y establecer de manera precisa la forma en que las actividades propias de la minería artesanal ejercen su influencia y generan alteraciones sobre los distintos parámetros que definen la calidad del agua en la cuenca del río Oscocachi.

Un diseño descriptivo se utiliza para caracterizar con la mayor precisión posible una situación empresarial o un mercado, enfocándose en la amplitud de los datos. Para ello, se emplean técnicas cuantitativas como encuestas con cuestionarios estructurados, que permiten medir variables y obtener porcentajes o frecuencias, dándonos una visión clara de los perfiles y

propiedades de lo que se estudia, resultando muy útil para una comprensión detallada del estado actual (Vara, 2010).

3.3.2. Variables de investigación

Para garantizar una medición precisa y sistemática de los elementos en estudio, las variables consideradas en esta investigación fueron minuciosamente definidas y estructuradas en la correspondiente tabla de operacionalización de variables (Tabla 5). Este instrumento metodológico detalla de manera integral cada variable, los indicadores que la componen y la técnica o instrumento específico empleado para su cuantificación, estableciendo así un marco claro y replicable para la recolección y el análisis de los datos.

- **Variable independiente**

Actividad minera artesanal

- **Variable dependiente**

Calidad de agua.

Al hablar de una variable de investigación, nos referimos a cualquier característica o propiedad que podemos observar y que es capaz de asumir distintos valores en nuestro estudio. No es un elemento fijo, sino algo que varía y fluctúa, como la edad de una persona o el rendimiento laboral de un equipo. Es, en esencia, aquello que medimos o registramos para entender un fenómeno, diferenciándose de una constante por su dinamismo y capacidad de cambio, lo que nos permite organizar y dar sentido a nuestras investigaciones (Vara, 2010). Esta cualidad de variar es fundamental, ya que el corazón de la investigación científica consiste, precisamente, en explicar por qué se producen esas variaciones. Al estudiar sistemáticamente cómo se relacionan estas variables, podemos diagnosticar problemas complejos, como un episodio de contaminación atmosférica, y proponer soluciones basadas en evidencia. De este modo, las variables se convierten en las herramientas conceptuales que nos permiten traducir la realidad compleja en datos analizables, facilitando la comprensión de los procesos ambientales y sociales que nos rodean.

3.3.3. Operacionalización de variables

Tabla 5. Operacionalización de las variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	MÉTODO
Variable independiente. Consumo de agua por la actividad minera artesanal	Consumo de Agua	Consumo por explotación (m ³ /Ton Roca)	Encuesta
		Consumo por extracción (m ³ /Ton Roca)	
		Consumo por quemado (m ³ /Ton Roca)	
		Consumo total estimado (m ³ /mes)	
Variable dependiente. Calidad de Agua del río Oscocachi	Fisicoquímico	pH, T°, CE, OD	Método electrométrico (multiparámetro HACH-HQ40d)
		Sulfatos / Cloruros	APHA 4500 E/C
		Orgánico	DBO
DQO	APHA 5220 D		
	Metales	Metales (As, Hg, Al, Co, Fe, Pb, Zn, Cd, Cu)	APHA 3114C, 3112B, 3111D, 3111B y 3111C.

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue no experimental y longitudinal. En la investigación no experimental se está más cerca de las variables formuladas hipotéticamente como reales, en consecuencia, tenemos mayor validez externa de generalizar los resultados a otros individuos y situaciones comunes. Los diseños longitudinales recolectan datos sobre categorías, sucesos, contextos, variables o sus relaciones, en dos o más momentos, para evaluar el cambio en ellas (Hernández y Mendoza, 2018).

Diseño descriptivo simple:



Donde:

M: Muestra de estudio

O: Observación de las variables

3.3.5. Población y muestra

Cuando hablamos de investigación, dos conceptos clave son la población y la muestra. La población es como un universo completo de individuos, objetos o situaciones que poseen características comunes y que son el centro de nuestro interés. Es el grupo total al que nos referimos en un estudio. Por otro lado, la muestra es simplemente una porción más pequeña, pero cuidadosamente seleccionada de esa población, porque a menudo es inviable o innecesario estudiar a todos. Es a través de esta muestra que obtenemos la información real para luego poder generalizar nuestros hallazgos al conjunto mayor (Vara, 2010). Para esta investigación, la población y muestra estuvo conformado de la siguiente manera:

- **Población**

Consumo de agua de la minería artesanal y un tramo del río Oscocachi.

- **Muestra**

Se seleccionaron 40 socavones para la aplicación de encuestas con el fin de estimar el consumo de agua por la actividad minera artesanal. Adicionalmente, para evaluar la calidad del agua, se establecieron 4 estaciones de monitoreo, ubicadas estratégicamente a lo largo de un tramo del río Oscocachi: 2 estaciones aguas arriba de la zona de influencia minera y 2 estaciones aguas abajo de dicha zona.

3.3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La toma de muestra se realizó en base a la R.J N°010-2016 ANA. en 4 estaciones de monitoreo las cuales 2 se encontraron aguas arriba y las otras 2 se encontraron aguas abajo de la comunidad minera artesanal del río Oscocachi; las muestras fueron tomadas cumpliendo los criterios de identificación, accesibilidad y representatividad; las muestras recolectadas se conservaron en coolers con pack de hielo transportadas y luego se enviaron al laboratorio.

Los parámetros in situ (pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto) fueron determinados mediante el multiparámetro HACH-HQ40d; los análisis de las muestras de monitoreo se realizaron en un laboratorio acreditado por INACAL e IAS, donde se aplicaron los procedimientos de análisis químicos validados mediante cuantificación de los niveles de confiabilidad de las mediciones.

La técnica de muestreo es el procedimiento clave para extraer una parte representativa de una población más grande. El muestreo se convierte en ese proceso inteligente y sistemático para seleccionar cuidadosamente a un subgrupo. El objetivo principal es que esa muestra sea un reflejo fiel del total, permitiéndonos obtener información fiable y precisa que luego se pudo generalizar a toda la población original. (Vara, 2010).

3.3.7. Análisis estadísticos de datos

El análisis de los datos se realizó mediante tablas de índice de resultados fisicoquímicos, metales y parámetros orgánicos; para determinar como la actividad minera artesanal afecta al recurso hídrico mediante frecuencias absolutas simple y relativa porcentual. Se realizó también el análisis inferencial mediante la prueba de Mann-Whitney de las variables correspondientes a los grupos de aguas arriba y aguas abajo para determinar la diferencia significativa de ambos; además, se elaboraron tablas y gráficos unidimensionales para la variable independiente y dependiente de la calidad, teniendo como hipótesis lo siguiente:

H₀: La actividad minera artesanal no tiene influencia en la calidad del río Oscocachi, distrito de Ollachea, provincia de Carabaya, departamento de Puno, periodo 2021 – 2022.

H_a: La actividad minera artesanal tiene influencia en la calidad del río Oscocachi, distrito de Ollachea, provincia de Carabaya, departamento de Puno, distrito 2021 – 2022.

3.4. Método

3.4.1. Identificación de los parámetros fisicoquímicos y metales (As, Hg, Al, Fe, Pb, Zn, Co, Cd y Cu) y parámetros orgánicos en el río Oscocachi.

Para la determinación de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos, metales y parámetros orgánicos, se realizó en base a los requisitos de calidad de muestreo y el método de análisis establecida en la siguiente Tabla 6.

Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos, metales y parámetros orgánicos, técnicas de muestreo y método de análisis a evaluar

Parámetro	Manejo de muestras	Método de análisis
pH		Método electrométrico (multiparámetro HACH-HQ40d), APHA 4500 H ⁺ B
Temperatura		APHA 2550 B
Oxígeno disuelto	Medición In Situ	Método electrométrico (multiparámetro HACH-HQ40d), APHA 4500-O C
Conductividad eléctrica		Método electrométrico (multiparámetro HACH-HQ40d), APHA 2510 B
Sulfatos	½ L de muestra en frasco de PVC y conservar a ≤ 6°C	APHA 4500-SO ₄ ⁻² E
Cloruros	½ L de muestra en frasco de PVC	APHA 4500-Cl ⁻ C
Arsénico		APHA 3114 C
Mercurio		APHA 3112 B
Aluminio		APHA 3111 D
Hierro		APHA 3111 B
Plomo	Preservado a pH < 2 /	
Zinc	Conservación a ≤ 4 °C.	
Cobalto		APHA 3111 B
Cadmio		
Cobre		
DBO	Conservación a ≤ 6 °C / Sin burbuja de aire.	APHA 5210 B
DQO	Preservar con H ₂ SO ₄ a pH < 2 / Conservación a ≤ 6°C	APHA 5220 D

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.2. Procedimiento para la evaluación de la conformidad con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

Se determinó la calidad de agua de los parámetros fisicoquímicos metales y parámetros orgánicos en el río Oscocachi, mediante la comparación de los resultados obtenidos con los valores límites establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, 2017), categoría 3, obteniendo como resultado si dichos parámetros se encontraban dentro o fuera de los ECAs de calidad agua. En la Tabla 1, se observan los valores establecidos de los ECAs de calidad de agua de los parámetros fisicoquímico a evaluar.

3.4.3. Determinación del índice de calidad de agua (ICA) en el río Oscocachi mediante el ICA-PE.

- Cálculo de valores de índice de calidad de agua (ICA-PE)

Para el cálculo del índice de calidad de agua se utilizaron los resultados de las concentraciones de los análisis de los parámetros evaluados durante el periodo 2021 – 2022 en 4 puntos de monitoreo, posterior a ello se procesaron los datos de las concentraciones y los valores ECA-Agua en una hoja de cálculo Excel, siguiendo los pasos que indica la metodología del ICA-PE. Asimismo, se introdujeron las ecuaciones matemáticas a aplicar para determinar las dimensiones de alcance (F1), frecuencia (F2) y amplitud (F3), donde el valor final fue calculado mediante la ecuación general del Índice de calidad de Agua (ICA-PE) presentado a continuación:

$$ICA = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732}$$

Finalmente, una vez obtenido el valor de las dimensiones (F1, F2 y F3) se procedió a realizar el cálculo del índice de calidad de agua, el cual se presenta como un número comprendido entre un rango (0 – 100), lo que nos permitió establecer escalas en cinco rangos, como niveles de sensibilidad que expresan y califican el estado de la calidad del agua (Tabla 2).

3.4.4. Estimación del consumo de agua en los diferentes procesos de la minería artesanal

Para estimar el consumo de agua en los diferentes procesos de la minería artesanal, se delimitó la muestra de estudio la cual estuvo conformada por socavones existentes en la zona operativa de la minería artesanal. Según la información que se solicitó a la comunidad minera artesanal, esta cuenta con 45 socavones distribuidos dentro del área de operaciones. Con este dato,

se procedió a realizar el cálculo del tamaño de muestra para las entrevistas (validado por 3 especialistas), el cual arrojó un total de 40 socavones como se muestra en la fórmula a continuación:

$$n = \frac{z^2 * P * Q * N}{E^2(N - 1) + Z^2 * P * Q}$$

$$n = \frac{1,96^2 * 0.5 * 0.5 * 45}{0.05^2(45 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = 40 = 40 \text{ socavones donde se realizó la entrevista}$$

Los 40 socavones estudiados constituyeron la muestra efectiva para estimar el consumo de agua en los diferentes procesos de la minería artesanal. Esta selección permitió generar y analizar la base de datos correspondiente, la cual se detalla y cuantifica de acuerdo con lo presentado en las Tablas 7 y 8.

Tabla 7. Descripción de los procesos de la actividad minera artesanal en Ollachea que requieren consumo de agua.

Proceso	Actividad	Descripción
Explotación	Perforación, voladura	Uso de pólvora para explotación de vetas y transporte de mineral de socavón a campamento operativo
Extracción	Amalgamación de mineral	Se añade el mercurio al mineral durante la trituración y lavado en timbaletes para extraer oro de las rocas o piedras
		Presencia de pequeñas carpas denominados campamentos mineros, donde el trabajador prepara sus alimentos, descansa y en algunos casos crían animales como gallinas, patos, etc.
Quemado	Quema de amalgama para recuperar el mineral	la amalgama se coloca en una pala y se quema directamente sobre el fuego, a cielo abierto

Tabla 8. Consumo estimado de agua en m³/Tn-Roca y m³/mes por proceso en Socavones de minería artesanal de Ollachea, 2021-2022.

N° Socavón	Tn-Roca/mes	Consumo de agua por m ³ /Tn-Roca			Suma de consumo (m ³ /mes)
		Explotación	Extracción	Quemado	
Socavón 1					
Socavón 2					
Socavón 3					
Socavón 4					
Socavón 5					
.					
.					
Socavón n					

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de las características de los parámetros fisicoquímicos, metales y orgánicos

Tabla 9. Estadísticos descriptivos de parámetros fisicoquímicos y metales en la estación AA1 (aguas arriba del Río Oscocachi), 2021-2022.

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
pH	Unid, de pH	6.36	7.92	7.124	0.421	89.946
Temperatura	°C	6.4	13.0	9.675	2.197	74.423
Conductividad	µS/cm	21.09	48.12	35.389	8.701	73.543
Oxígeno disuelto	mg/L	6.31	7.96	7.241	0.498	90.970
DBO	mg/L	1.0	5.0	1.875	1.458	37.500
DQO	mg/L	2.5	13.0	6.813	3.093	52.404
Sulfatos	mg/L	2	16	8.375	4.897	52.344
Cloruro	mg/L	0.5	5.0	1.875	1.706	37.500
Mercurio	mg/L	0.0001	0.0003	0.000	0.000	41.667
Aluminio	mg/L	0.074	0.514	0.225	0.192	43.847
Arsénico	mg/L	0.0005	0.0020	0.001	0.001	40.625
Cadmio	mg/L	0.0015	0.0050	0.002	0.002	47.500
Cobalto	mg/L	0.004	0.004	0.004	0.000	100.000
Cobre	mg/L	0.003	0.016	0.006	0.005	39.844
Hierro	mg/L	0.0065	0.7750	0.300	0.298	38.669
Plomo	mg/L	0.0055	0.0055	0.006	0.000	100.000
Zinc	mg/L	0.003	0.041	0.015	0.015	37.500

La Tabla 9 presenta los estadísticos descriptivos para la estación AA1, ubicada aguas arriba del Río Oscocachi. Se observa un pH promedio de 7.124, una temperatura de 9.675°C y un oxígeno disuelto de 7.241 mg/L. Los valores promedio de DBO (1.875 mg/L) y DQO (6.813 mg/L) son relativamente bajos. En cuanto a metales, el aluminio promedia 0.225 mg/L y el hierro 0.300 mg/L. Es relevante destacar altos coeficientes de variación para cobalto (100%), plomo (100%) y pH (89.946%), indicando una notable fluctuación en estas variables incluso antes de la influencia minera directa.

Los valores descriptivos de la estación AA1 (aguas arriba), como un pH promedio de 7.124 y un oxígeno disuelto de 7.241 mg/L, se sitúan holgadamente dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para la Categoría 3 (D.S. N°004-2017 MINAM), lo que sugiere un ecosistema acuático saludable y se alinea con la definición de agua de buena calidad (López et al., 2019; Pérez et al., 2018). Las concentraciones de metales como mercurio (0.000 mg/L), aluminio (0.225 mg/L)

y arsénico (0.001 mg/L) se encuentran significativamente por debajo de los límites establecidos en el ECA. Si bien Meza-Duman et al. (2022) reportaron pH de 7.8 y 7.0 para estaciones río arriba en el Oscocachi, consistentes con nuestros hallazgos, su conductividad eléctrica (0.5-1.0 uS/cm) difiere de la nuestra (35.389 μ S/cm), aunque ambos valores son bajos, indicando baja mineralización. Este estado "Excelente" de la estación AA1 es crucial como línea base, contrastando con el deterioro esperado aguas abajo por la minería artesanal (ONU, 2018).

Tabla 10. Estadísticos descriptivos de parámetros fisicoquímicos y metales en la estación AA2 (aguas arriba del Río Oscocachi), 2021-2022

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
pH	Unid, de pH	6.54	7.94	7.085	0.428	6.035
Temperatura	°C	8.1	13.8	11.100	2.072	18.663
Conductividad	μ S/cm	18.81	70.66	38.546	17.630	45.737
Oxígeno disuelto	mg/L	6.47	8.07	7.350	0.486	6.613
DBO	mg/L	1.0	8.0	2.250	2.435	108.216
DQO	mg/L	2.5	20.0	7.563	5.247	69.382
Sulfatos	mg/L	2	19	8.375	5.344	63.804
Cloruro	mg/L	0.5	5.0	1.813	1.751	96.622
Mercurio	mg/L	0.0001	0.0011	0.000	0.000	114.698
Aluminio	mg/L	0.074	0.522	0.130	0.158	121.840
Arsénico	mg/L	0.0005	0.0020	0.001	0.001	71.270
Cadmio	mg/L	0.0015	0.0060	0.003	0.002	62.227
Cobalto	mg/L	0.004	0.004	0.004	0.000	0.000
Cobre	mg/L	0.003	0.020	0.006	0.006	102.740
Hierro	mg/L	0.0420	0.9290	0.276	0.279	101.073
Plomo	mg/L	0.0055	0.0055	0.006	0.000	0.000
Zinc	mg/L	0.003	0.113	0.036	0.036	98.641

La Tabla 10 muestra los estadísticos descriptivos de parámetros fisicoquímicos y metales para la estación AA2, situada también aguas arriba. El pH promedio es de 7.085, con una temperatura de 11.100°C y un oxígeno disuelto de 7.350 mg/L. Los valores de DBO y DQO son de 2.250 mg/L y 7.563 mg/L, respectivamente. En metales, el hierro (0.276 mg/L) y el aluminio (0.130 mg/L) son los más presentes en promedio. Destacan coeficientes de variación elevados para DBO (108.216%), aluminio (121.840%), mercurio (114.698%) y zinc (98.641%), lo que indica una considerable dispersión de datos.

En la estación AA2, también ubicada aguas arriba, los promedios de pH (7.085) y oxígeno disuelto (7.350 mg/L) continúan mostrando condiciones óptimas, conformes con el ECA Categoría 3 (D.S. N°004-2017 MINAM) y una calidad hídrica generalmente buena (López et al., 2019). Sin embargo, la alta dispersión de datos para mercurio (CV del 114.698%), a pesar de su bajo promedio, es un indicio preocupante. Aunque el promedio de Hg sea 0.000, hubo un registro de 0.0011 mg/L en marzo de 2021, excediendo el ECA de 0.001 mg/L. Este hallazgo es similar al de Castro (2021) en Huepetuhe, quien reportó 0.0007 mg/L de Hg, también por encima de su ECA (0.0001 mg/L), incluso en zonas inicialmente menos impactadas. La presencia de metales como el aluminio con alta variabilidad (121.840%) en esta estación, aún antes de la influencia directa minera, sugiere una posible contaminación difusa o de fondo, que podría tener origen geogénico (ANA, 2018) o de actividades previas no detectadas, lo cual complejiza el análisis de la calidad del agua en puntos de referencia.

Tabla 11. Estadísticos descriptivos de parámetros fisicoquímicos y metales en la estación Aa1 (aguas abajo del Río Oscocachi), 2021-2022.

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
pH	Unid. de pH	3.00	6.84	4.428	1.470	33.213
Temperatura	°C	9.3	14.8	12.375	1.923	15.542
Conductividad	µS/cm	50.60	1098.00	477.126	395.297	82.850
Oxígeno disuelto	mg/L	6.34	7.86	7.263	0.461	6.343
DBO	mg/L	1.0	34.0	8.750	10.634	121.526
DQO	mg/L	6.0	60.0	17.000	18.024	106.022
Sulfatos	mg/L	9	473	189.000	185.141	97.958
Cloruro	mg/L	1.0	20.0	7.875	6.512	82.697
Mercurio	mg/L	0.0001	0.0020	0.001	0.001	74.139
Aluminio	mg/L	2.084	27.529	13.468	9.966	73.997
Arsénico	mg/L	0.0120	0.8660	0.209	0.285	136.325
Cadmio	mg/L	0.0015	0.0110	0.005	0.004	80.123
Cobalto	mg/L	0.004	0.173	0.081	0.070	86.842
Cobre	mg/L	0.018	0.108	0.054	0.032	60.063
Hierro	mg/L	5.5920	135.5690	53.321	50.149	94.052
Plomo	mg/L	0.0055	0.0810	0.030	0.031	103.567
Zinc	mg/L	0.094	0.665	0.387	0.238	61.411

La Tabla 11 nos presenta un panorama descriptivo de los parámetros fisicoquímicos y metales en la estación Aa1, ubicada aguas abajo del Río Oscocachi. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, el pH promedio es de 4.428, con valores oscilando entre 3.00 y 6.84, lo que ya indica un ambiente ácido. La temperatura media del agua fue de 12.375°C, con un rango entre 9.3°C y 14.8°C. La conductividad eléctrica promedia 477.126 $\mu\text{S}/\text{cm}$, alcanzando un máximo de 1098.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que sugiere una considerable carga iónica. El oxígeno disuelto se mantiene en un promedio de 7.263 mg/L. Los indicadores de contaminación orgánica, como la DBO y DQO, muestran promedios de 8.750 mg/L y 17.000 mg/L respectivamente, con una elevada variabilidad (121.526% para DBO y 106.022% para DQO). Los sulfatos y cloruros también registran promedios altos de 189.000 mg/L y 7.875 mg/L. Respecto a los metales, el hierro se destaca con un promedio de 53.321 mg/L, seguido por el aluminio con 13.468 mg/L. Arsénico (0.209 mg/L), cobalto (0.081 mg/L), cobre (0.054 mg/L), plomo (0.030 mg/L), zinc (0.387 mg/L) y mercurio (0.001 mg/L) también están presentes en concentraciones significativas, con alta variabilidad en varios de ellos.

Los datos de la estación Aa1 son preocupantes y reflejan un deterioro significativo de la calidad del agua, con valores que, en muchos casos, superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). El pH promedio de 4.428 es marcadamente ácido, excediendo el límite inferior de 6.5 establecido por los ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), lo cual el marco teórico explica que facilita la solubilidad y movilización de metales (Lenntech, 2019). Este hallazgo concuerda con estudios en Puno, donde el arroyo Lunar de Oro, afectado por minería, presentó un pH promedio de 3.44 ± 0.12 (Loza y Ccancapa, 2020). La conductividad eléctrica promedio de 477.126 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aunque no excede el ECA de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es considerablemente superior a los 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$ registrados en ríos de Ghana afectados por minería artesanal (Karikari et al., 2022), evidenciando una mayor mineralización (Toruan et al., 2023). La DBO y DQO, con 8.750 mg/L y 17.000 mg/L respectivamente, superan el promedio de 4.58 mg/L de DBO_5 en Ghana (Karikari et al., 2022) y el límite del ECA de 15 mg/L para DBO en picos, indicando una carga orgánica significativa (Bueno, 2021). Las concentraciones de hierro (53.321 mg/L) y aluminio (13.468 mg/L) exceden drásticamente el ECA de 5 mg/L (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), un patrón observado en el río Lom de Camerún donde el hierro llegó a 1.7 mg/L y superó los estándares (Ngounouno et al., 2022). El arsénico (0.209 mg/L) también rebasa el ECA de 0.1 mg/L (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), valor que es significativamente mayor al promedio de 0.00401 mg/L en el río Suches (Salas-Ávila et al., 2021), pero comparable a las transgresiones en Cajamarca (Vásquez, 2024), confirmando la influencia de la minería artesanal.

Tabla 12. Estadísticos descriptivos de parámetros fisicoquímicos y metales en la estación Aa2 (aguas abajo del Río Oscocachi), 2021-2022.

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
pH	Unid, de pH	3.20	6.83	4.185	1.220	29.151
Temperatura	°C	11.2	15.8	13.175	1.553	11.785
Conductividad	µS/cm	52.30	944.30	350.588	326.160	93.032
Oxígeno disuelto	mg/L	6.00	7.96	7.415	0.614	8.285
DBO	mg/L	1.0	39.0	8.500	12.536	147.478
DQO	mg/L	6.0	73.0	17.125	22.838	133.358
Sulfatos	mg/L	12	398	150.500	151.649	100.763
Cloruro	mg/L	1.0	20.0	9.000	6.719	74.654
Mercurio	mg/L	0.0001	0.0034	0.001	0.001	134.795
Aluminio	mg/L	2.299	26.706	11.790	8.689	73.700
Arsénico	mg/L	0.0110	0.8290	0.182	0.277	152.261
Cadmio	mg/L	0.0015	0.0070	0.004	0.002	65.707
Cobalto	mg/L	0.016	0.188	0.078	0.062	79.693
Cobre	mg/L	0.015	0.089	0.045	0.025	56.005
Hierro	mg/L	6.4800	118.7860	43.916	46.078	104.924
Plomo	mg/L	0.0055	0.0660	0.021	0.025	118.088
Zinc	mg/L	0.112	0.758	0.358	0.228	63.604

La Tabla 12 detalla los estadísticos descriptivos de los parámetros fisicoquímicos y metales en la estación Aa2, ubicada también aguas abajo del Río Oscocachi, mostrando una situación crítica similar a Aa1. El pH promedio es de 4.185, con un rango que va de 3.20 a 6.83, confirmando las condiciones ácidas predominantes. La temperatura del agua registra un promedio de 13.175°C. La conductividad eléctrica es alta, con un promedio de 350.588 µS/cm y un valor máximo de 944.30 µS/cm. El oxígeno disuelto se mantiene en un nivel saludable, promediando 7.415 mg/L. La DBO y DQO alcanzan promedios de 8.500 mg/L y 17.125 mg/L respectivamente, con una variabilidad extremadamente alta (147.478% para DBO y 133.358% para DQO). Los sulfatos y cloruros presentan promedios de 150.500 mg/L y 9.000 mg/L. En cuanto a los metales, el hierro (43.916 mg/L) y el aluminio (11.790 mg/L) muestran los valores promedio más altos. Arsénico (0.182 mg/L), cobalto (0.078 mg/L), cobre (0.045 mg/L), plomo (0.021 mg/L), zinc (0.358 mg/L) y mercurio (0.001 mg/L) también están presentes, con una dispersión significativa en arsénico (152.261%), mercurio (134.795%), hierro (104.924%) y plomo (118.088%).

Los resultados de la estación Aa2 refuerzan la conclusión de una grave contaminación aguas abajo. El pH promedio de 4.185 es consistentemente ácido, superando el límite inferior de 6.5 del ECA (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), lo cual es crítico para la movilización de metales pesados (Lenntech, 2019). Esta acidificación es comparable a los hallazgos en Puno, donde ríos con minería artesanal presentan aguas ácidas (Jiménez, 2020; Loza y Ccancapa, 2020), y en Cajamarca, donde también se reportó pH ácido (Garay y Núñez, 2020). La conductividad eléctrica, con 350.588 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es considerablemente más alta que en zonas no impactadas, superando los 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$ promedio de ríos mineros en Ghana (Karikari et al., 2022), lo que demuestra un aumento en sólidos disueltos (Toruan et al., 2023). Los valores de DBO (8.500 mg/L) y DQO (17.125 mg/L) exceden el ECA de 15 mg/L y 40 mg/L en sus picos (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), similar a los 4.58 mg/L de DBO₅ en Ghana (Karikari et al., 2022), señalando una alta carga orgánica (Bueno, 2021). Las concentraciones de hierro (43.916 mg/L) y aluminio (11.790 mg/L) son alarmantemente altas, muy por encima del ECA de 5 mg/L (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), reflejando los efectos del drenaje ácido de mina, como se observó en el río Lom (Ngounouno et al., 2022). El arsénico (0.182 mg/L) también excede el ECA de 0.1 mg/L (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), confirmando la contaminación por esta actividad (Marín & Vélez, 2018).

Tabla 13. Valores promedio de parámetros fisicoquímicos en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi, 2021-2022

Ubicación	Punto de muestreo	Potencial de Hidrógeno	Temperatura	Conductividad	Oxígeno disuelto	DBO	DQO	Sulfatos	Cloruro
		Unid, de pH	°C	$\mu\text{S}/\text{cm}$	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Aguas arriba	AA1	7.124	9.675	35.389	7.241	1.875	6.813	8.375	1.875
Aguas arriba	AA2	7.085	11.100	38.546	7.350	2.250	7.563	8.375	1.813
Aguas abajo	Aa1	4.428	12.375	477.126	7.263	8.750	17.000	189.000	7.875
Aguas abajo	Aa2	4.185	13.175	350.588	7.415	8.500	17.125	150.500	9.000

La Tabla 13 consolida los valores promedio de los principales parámetros fisicoquímicos a lo largo de las cuatro estaciones de monitoreo del Río Oscocachi. Una diferencia fundamental es evidente entre las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) y las aguas abajo (Aa1 y Aa2). El Potencial de Hidrógeno (pH) muestra una caída drástica: de un rango neutro de 7.124 a 7.085 aguas arriba, disminuye a valores ácidos de 4.428 y 4.185 aguas abajo. La temperatura del agua aumenta ligeramente de 9.675°C y 11.100°C aguas arriba a 12.375°C y 13.175°C aguas abajo. La conductividad eléctrica se dispara exponencialmente, pasando de aproximadamente 35 $\mu\text{S}/\text{cm}$

aguas arriba a valores cercanos a 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (477.126 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 350.588 $\mu\text{S}/\text{cm}$) aguas abajo. El oxígeno disuelto se mantiene relativamente estable, con promedios entre 7.241 y 7.415 mg/L en todas las estaciones. Sin embargo, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) aumentan significativamente: la DBO de 1.875-2.250 mg/L a 8.750-8.500 mg/L, y la DQO de 6.813-7.563 mg/L a 17.000-17.125 mg/L. Los sulfatos y cloruros también evidencian incrementos notables en las estaciones aguas abajo, pasando de ~ 8 mg/L y ~ 1.8 mg/L aguas arriba a ~ 150 -189 mg/L y ~ 8 -9 mg/L respectivamente.

Los valores promedio en la Tabla 13 son una evidencia irrefutable de la influencia de la minería artesanal en la calidad del Río Oscocachi. La caída del pH de un promedio neutro (aprox. 7.1) aguas arriba a valores ácidos (aprox. 4.2-4.4) aguas abajo, supera el límite inferior de 6.5 del ECA (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017). Esta acidificación es un sello distintivo del drenaje ácido de mina, que, como indica el marco teórico, aumenta la solubilidad de los metales (U.S. Environmental Protection Agency, 2025). Este patrón es ampliamente documentado en otras zonas mineras de Puno (Jiménez, 2020; Loza y Ccancapa, 2020), con el arroyo Lunar de Oro registrando un pH promedio de 3.44 (Loza y Ccancapa, 2020). La conductividad eléctrica, que se eleva de ~ 35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a ~ 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aunque no exceda los 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ del ECA, es notablemente superior al promedio de 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en ríos mineros de Ghana (Karikari et al., 2022), lo que confirma una alteración hidroquímica por la disolución de minerales (Toruan et al., 2023). El incremento de DBO y DQO, que pasa de ~ 2 mg/L a ~ 8.5 mg/L y de ~ 7 mg/L a ~ 17 mg/L respectivamente, supera en los picos el ECA de 15 mg/L para DBO (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), similar a los 4.58 mg/L de DBO₅ en Ghana (Karikari et al., 2022), indicando una carga orgánica que consume oxígeno disuelto (López et al., 2019). Los aumentos en sulfatos y cloruros también son un indicador de la disolución de minerales expuestos por la actividad minera (Chacón, 2016).

Tabla 14. Valores promedio de parámetros metálicos en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi, 2021-2022

Ubicación	Punto de muestreo	Mercurio mg/L	Aluminio mg/L	Arsénico mg/L	Cadmio mg/L	Cobalto mg/L	Cobre mg/L	Hierro mg/L	Plomo mg/L	Zinc mg/L
Aguas arriba	AA1	0.000	0.225	0.001	0.002	0.004	0.006	0.300	0.006	0.015
Aguas arriba	AA2	0.000	0.130	0.001	0.003	0.004	0.006	0.276	0.006	0.036
Aguas abajo	Aa1	0.001	13.468	0.209	0.005	0.081	0.054	53.321	0.030	0.387
Aguas abajo	Aa2	0.001	11.790	0.182	0.004	0.078	0.045	43.916	0.021	0.358

La Tabla 14 resume los valores promedio de los parámetros metálicos en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi, evidenciando un claro contraste entre las zonas aguas arriba y aguas abajo de la actividad minera. En las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2), los promedios de metales como mercurio (0.000 mg/L), aluminio (0.225 mg/L y 0.130 mg/L), arsénico (0.001 mg/L), cadmio (0.002 mg/L y 0.003 mg/L), cobalto (0.004 mg/L), cobre (0.006 mg/L), hierro (0.300 mg/L y 0.276 mg/L), plomo (0.006 mg/L) y zinc (0.015 mg/L y 0.036 mg/L) se mantienen en niveles bajos. Sin embargo, en las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2), estos promedios se disparan significativamente. El hierro alcanza valores de 53.321 mg/L y 43.916 mg/L, mientras que el aluminio llega a 13.468 mg/L y 11.790 mg/L. El arsénico aumenta a 0.209 mg/L y 0.182 mg/L. También se observan incrementos notables en cobalto (0.081 mg/L y 0.078 mg/L), cobre (0.054 mg/L y 0.045 mg/L), plomo (0.030 mg/L y 0.021 mg/L) y zinc (0.387 mg/L y 0.358 mg/L). El mercurio, aunque con un incremento menor, también sube a un promedio de 0.001 mg/L en ambas estaciones aguas abajo.

Los valores promedio de metales en la Tabla 14 constituyen una alerta contundente sobre la contaminación por minería artesanal. Las concentraciones de hierro y aluminio aguas abajo (53.321 mg/L y 13.468 mg/L en Aa1; 43.916 mg/L y 11.790 mg/L en Aa2) superan masivamente el ECA de 5 mg/L (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), un fenómeno consistente con la movilización de metales por acidificación (Lenntech, 2019). Este hallazgo se alinea con el río Lom de Camerún, donde el hierro promedió 1.7 mg/L y excedió los límites de la OMS (Ngounouno et al., 2022). El arsénico, con 0.209 mg/L y 0.182 mg/L aguas abajo, sobrepasa el ECA de 0.1 mg/L (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017); este valor, aunque contrasta con el promedio de 0.00401 mg/L en el río Suches (Salas-Ávila et al., 2021), es comparable a las transgresiones de 0.30323 a 0.8093 mg/L en Cajamarca (Vásquez, 2024). El mercurio, aunque su promedio es de 0.001 mg/L aguas abajo, ya iguala el ECA de 0.001 mg/L (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), un valor significativamente más alto que el promedio de 0.00005 mg/L en el río Suches (Salas-Ávila et al., 2021) y similar a los 0.0007 mg/L reportados en el río Huaypetuhe (Castro, 2021). El plomo, con 0.030 mg/L aguas abajo, también se acerca al ECA de 0.05 mg/L (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), un metal que en el río Suches promedió 0.00321 mg/L (Salas-Ávila et al., 2021). Estos resultados confirman un impacto directo de la minería artesanal, con concentraciones de metales pesados que superan los estándares y generan riesgos ambientales y para la salud (ONU, 2018).

4.2. Comportamiento temporal de los parámetros de calidad del agua y su comparación con el ECA.

Tabla 15. Concentraciones de pH en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).

Punto	marzo	junio	setiembre	noviembre	febrero	junio	setiembre	diciembre	D.S. N°004- 2017- MINAM- Categoría 3
	2021	2021	2021	2021	2022	2022	2022	2022	
AA1	7.92	7.09	7.23	7.14	7.04	6.36	7.1	7.11	6.50
AA2	6.69	7.15	7.2	6.83	7.15	6.54	7.94	7.18	6.50
Aa1	6.84	3.61	3.01	4.38	6.08	3.30	5.20	3.00	6.50
Aa2	6.83	3.46	3.2	4.37	4.61	3.24	4.45	3.32	6.50

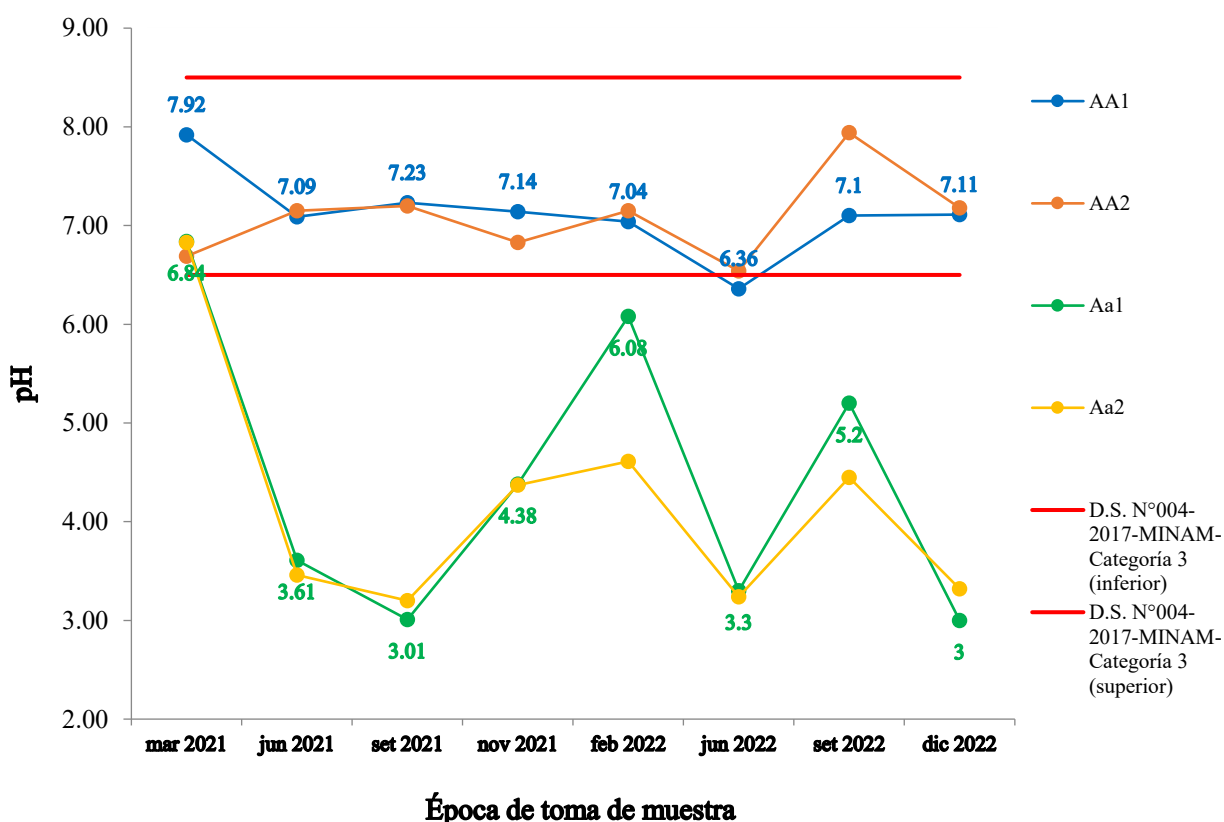


Figura 5. Variación temporal de las concentraciones de pH en las estaciones de monitoreo

La Figura 5, que ilustra la variación temporal del pH en el río Oscocachi, muestra una marcada divergencia entre las estaciones. Las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) mantienen un pH consistentemente neutro, oscilando predominantemente entre 6.5 y 8.5, el rango del ECA. Por

otro lado, las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) experimentan descensos drásticos, llegando a valores tan bajos como 3.00 en diciembre de 2022 para Aa1 y 3.24 en junio de 2022 para Aa2, lo que indica condiciones severamente ácidas y una clara alteración tras la influencia minera.

La Tabla 15 presenta las concentraciones de pH, donde se observa que las estaciones AA1 y AA2 (aguas arriba) registran valores que van de 6.36 a 7.92, manteniéndose mayormente dentro del rango de 6.5 a 8.5 del ECA. Sin embargo, las estaciones Aa1 y Aa2 (aguas abajo) muestran una marcada acidificación, con valores que descienden drásticamente, como 3.00 y 3.01 para Aa1 en diciembre de 2022 y setiembre de 2021 respectivamente, y 3.20 y 3.24 para Aa2 en setiembre de 2021 y junio de 2022, evidenciando un incumplimiento severo del estándar ambiental.

Los resultados del pH en la Tabla 15 y Figura 5 evidencian una drástica acidificación del Río Oscocachi en las secciones aguas abajo de la minería artesanal. Mientras que las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) mantuvieron valores cercanos a la neutralidad (6.36-7.92), la actividad minera provocó una caída a niveles extremadamente ácidos (3.00-5.20) en las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2). Esta acidificación supera el límite inferior de 6.5 del ECA Categoría 3 (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017) y se aleja del rango natural de pH 6-9 para aguas superficiales (Fernández, 2012; U.S. Environmental Protection Agency, 2025). Esta tendencia es un claro indicio de drenaje ácido de mina, que el marco teórico asocia con la mayor solubilidad de metales (Lenntech, 2019). Loza y Ccancapa (2020) reportaron un pH promedio de 3.44 ± 0.12 en arroyos impactados por minería en La Rinconada, y Jiménez (2020) encontró aguas ácidas en bofedales y lagunas en zonas mineras, similares a nuestros registros. Meza-Duman et al. (2022), en el mismo distrito de Ollachea, también señalaron niveles de pH ligeramente ácidos (6.4 y 5.9) en puntos aguas abajo. La consistencia entre nuestros datos, el marco teórico y estudios previos subraya que la minería artesanal es una fuente significativa de acidificación, comprometiendo gravemente la calidad del agua.

Tabla 16. Temperaturas del agua en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).

Punto	marzo 2021	junio 2021	setiembre 2021	noviembre 2021	febrero 2022	junio 2022	setiembre 2022	diciembre 2022	D.S. N°004- 2017- MINAM- Categoría 3
AA1	11	7.1	9.4	10.9	10.8	6.4	8.8	13	Δ3
AA2	10.6	8.1	9.5	12	13.6	13.8	9.3	11.9	Δ3

Aa1	11	9.3	10.3	13.6	13.2	13.2	14.8	13.6	$\Delta 3$
Aa2	11.7	12.6	11.2	15.8	13.5	12.1	14.3	14.2	$\Delta 3$

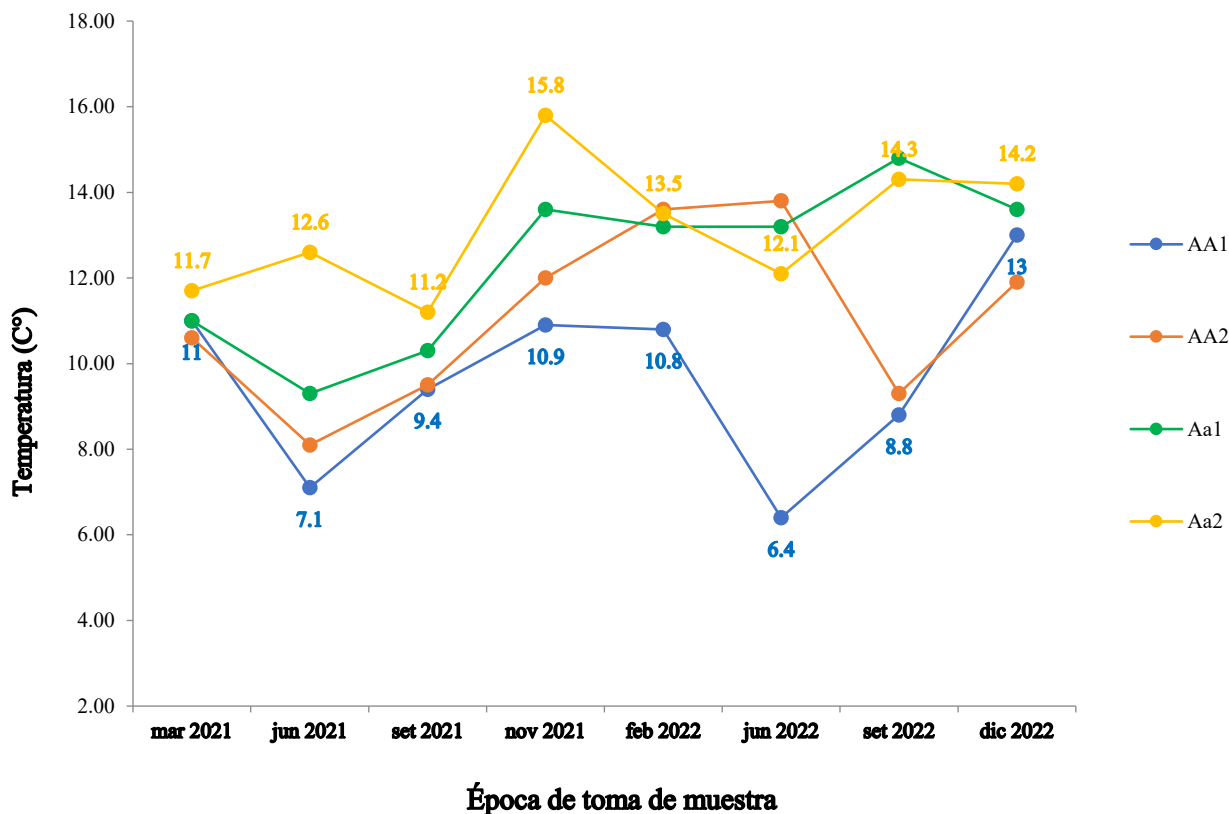


Figura 6. Variación temporal de la temperatura del agua en las estaciones de monitoreo

En la Figura 6, que representa la variación temporal de la temperatura del agua, se observa una tendencia general al aumento de la temperatura desde las estaciones aguas arriba hacia las aguas abajo. Las estaciones AA1 y AA2 registran temperaturas más bajas, como 6.4°C en junio de 2022 para AA1. En contraste, las estaciones Aa1 y Aa2 muestran picos más altos, alcanzando hasta 15.8°C en noviembre de 2021 para Aa2. Aunque existe una variabilidad, todas las mediciones se mantienen dentro de los rangos esperados para el ECA Categoría 3 ($\Delta 3$), lo que indica que no hay alteraciones térmicas extremas, pero sí una elevación gradual.

En la Tabla 16, referente a las temperaturas del agua, se constata que todas las estaciones se mantienen dentro del límite de $\Delta 3^\circ\text{C}$ del ECA. Los valores oscilan entre 6.4°C (AA1, junio 2022) y 15.8°C (Aa2, noviembre 2021). Hay una tendencia a que las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) presenten temperaturas ligeramente más elevadas que las aguas arriba (AA1 y AA2), lo que sugiere una influencia de factores locales, aunque sin exceder los criterios normativos de manera significativa.

Los datos de temperatura en la Tabla 16 y Figura 6 muestran variaciones temporales y un ligero incremento aguas abajo (de $\sim 6.4^{\circ}\text{C}$ a $\sim 15.8^{\circ}\text{C}$), pero sin exceder el criterio de " $\Delta 3$ " del ECA Categoría 3 (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), que se refiere a una variación máxima de 3°C respecto a condiciones naturales. El marco teórico reconoce la temperatura como un factor crucial que influye en la dinámica de los ecosistemas acuáticos y la velocidad de las reacciones químicas, incluida la degradación de materia orgánica (ACS, 2024).

Aunque el ligero aumento observado aguas abajo podría estar influenciado por descargas de agua de los procesos mineros o menor sombra ribereña, las magnitudes absolutas no indican un estrés térmico severo que por sí solo sea un indicador de contaminación según el ECA. En comparación, Loza y Ccancapa (2020) en Puno registraron una temperatura media de 6.3°C en un arroyo andino, similar a nuestros valores aguas arriba. Karikari et al. (2022) en Ghana reportaron un promedio de 26.7°C , un ecosistema más cálido donde la temperatura, aunque alta, no se identificó como un factor crítico de impacto directo per se. A diferencia de otros parámetros, la temperatura en el Río Oscocachi, en las estaciones analizadas, no muestra una alteración significativa atribuible directamente a la minería que transgrede los estándares ambientales vigentes, lo cual descarta la contaminación térmica como un factor de estrés agudo primario. No obstante, es crucial mantener la vigilancia de esta variable, dado que incluso incrementos térmicos subletales pueden potenciar la solubilidad y biodisponibilidad de los metales pesados liberados, exacerbando indirectamente la toxicidad química sobre la biota residente.

Tabla 17. Conductividad eléctrica en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).

Punto	marzo 2021	junio 2021	setiembre 2021	noviembre 2021	febrero 2022	junio 2022	setiembre 2022	diciembre 2022	D.S. N°004- 2017- MINAM- Categoría 3
AA1	28.71	37.1	42.99	21.09	28.9	38.9	48.12	37.3	2500.00
AA2	25.3	37.3	44.67	19.83	18.81	39.5	70.66	52.3	2500.00
Aa1	94.11	272	717.6	103.7	50.6	769	1098	712	2500.00
Aa2	115.7	247	489.4	164.3	96.5	695.2	944.3	52.3	2500.00

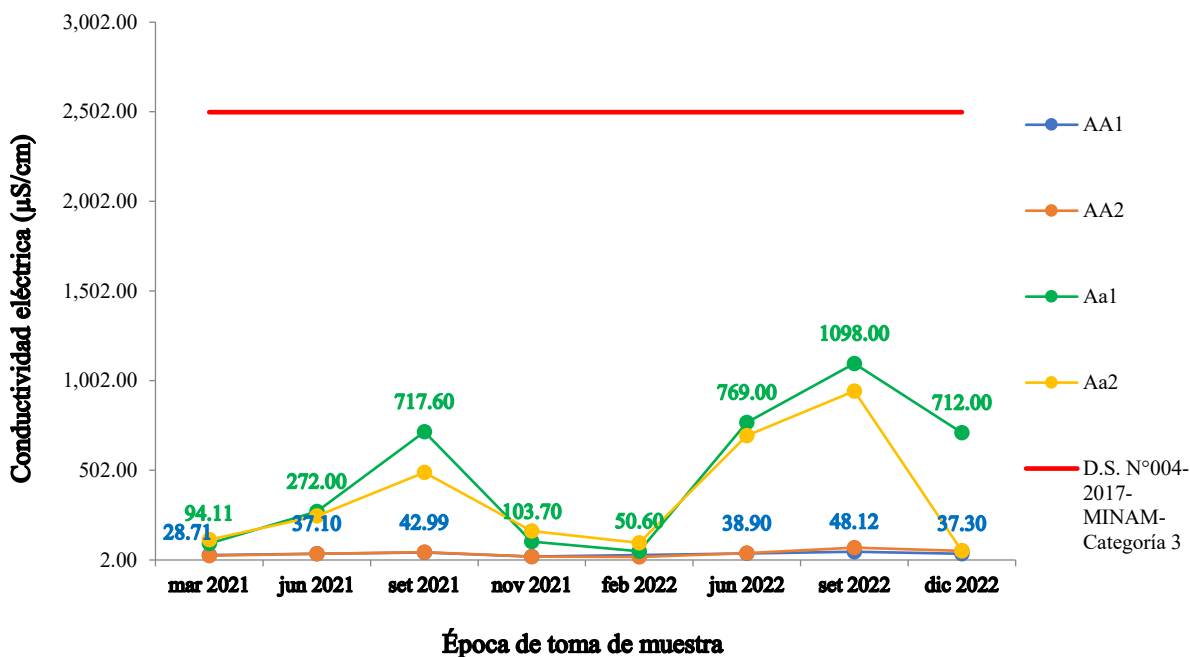


Figura 7. Variación temporal de la conductividad eléctrica en las estaciones de monitoreo

La Figura 7, que detalla la variación temporal de la conductividad eléctrica, exhibe una diferencia dramática. Las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) presentan valores bajos y estables, generalmente por debajo de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En contraste, las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) muestran un incremento exponencial, con valores que se disparan hasta 1098 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en septiembre de 2022 para Aa1 y 944.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en setiembre de 2022 para Aa2, indicando una carga iónica significativamente mayor que, si bien no excede el límite de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ del ECA, sí denota una fuerte mineralización.

La Tabla 17 muestra la conductividad eléctrica, con las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) registrando valores bajos, por ejemplo, AA1 con un mínimo de 21.09 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En contraste, las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) exhiben concentraciones notablemente más altas, con Aa1 alcanzando un máximo de 1098 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y Aa2 de 944.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Aunque estas cifras son significativamente superiores a las aguas arriba, todas permanecen por debajo del límite de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ del ECA, reflejando un aumento de sales disueltas por la actividad minera.

Los resultados de la Tabla 17 y Figura 7 revelan un aumento sustancial de la conductividad eléctrica (CE) en el Río Oscocachi aguas abajo de las actividades mineras, pasando de valores bajos (<70 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a concentraciones significativamente más altas (hasta 1098 $\mu\text{S}/\text{cm}$). El marco teórico explica que la CE es un indicador directo de la cantidad de sales disueltas y la concentración iónica, donde valores elevados sugieren una mayor mineralización o salinidad (Toruan et al., 2023). Aunque todos los valores registrados, incluso los máximos aguas abajo, se mantienen por debajo

del ECA Categoría 3 de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), la diferencia exponencial entre las secciones aguas arriba y abajo es preocupante. Este incremento es consistente con la liberación de iones y minerales producto de la lixiviación de rocas expuestas y drenajes mineros. Loza y Ccancapa (2020) en La Rinconada, Puno, reportaron CE superiores a 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, excediendo el ECA local, lo que demuestra la capacidad de la minería para elevar este parámetro. Jiménez (2020) también identificó que la CE en puntos de bofedales y lagunas sobrepasaba los ECA, consolidando la correlación. Meza-Duman et al. (2022) en Ollachea reportaron CE bajas (0.5-1.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, posiblemente mS/cm) en aguas arriba, aunque sin comparativa directa aguas abajo, nuestros datos llenan esa brecha, confirmando que la minería artesanal contribuye a una mayor carga iónica y alteración hidroquímica en el río Oscocachi.

Tabla 18. Concentraciones de oxígeno disuelto en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM)

Punto	marzo 2021	junio 2021	setiembre 2021	noviembre 2021	febrero 2022	junio 2022	setiembre 2022	diciembre 2022	D.S. N°004-2017-MINAM-Categoría 3
AA1	6.31	7.54	7.43	7.49	7.2	7.96	7.15	6.85	≥ 4
AA2	6.47	7.24	7.21	8.07	7.18	7.88	7.28	7.47	≥ 4
Aa1	6.34	7.3	7.22	7.53	7.62	7.86	7.24	6.99	≥ 4
Aa2	6.00	7.57	7.33	7.46	7.94	7.96	7.59	7.47	≥ 4

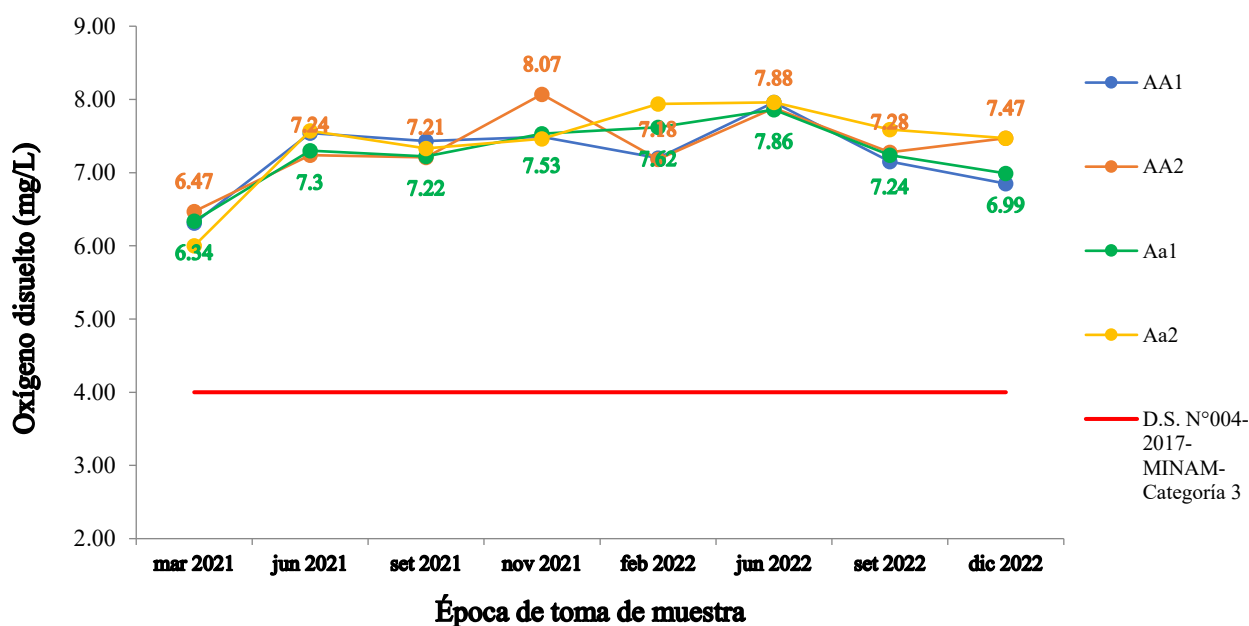


Figura 8. Variación temporal de las concentraciones de oxígeno disuelto en las estaciones de monitoreo.

La Figura 8, que muestra la variación temporal de las concentraciones de oxígeno disuelto, revela un patrón de estabilidad en todas las estaciones a lo largo del periodo de monitoreo. Tanto las estaciones aguas arriba como las aguas abajo mantienen niveles por encima del umbral de ≥ 4 mg/L establecido por el ECA Categoría 3. Los valores oscilan predominantemente entre 6.00 y 8.07 mg/L, lo que sugiere que, a pesar de otros impactos, la capacidad de re-aeración del río o la carga orgánica no provocan una disminución crítica del oxígeno para la vida acuática en el tramo estudiado.

Por otro lado, como se aprecia en la Tabla 18, se puede observar que todas las estaciones, tanto aguas arriba como aguas abajo, mantienen niveles consistentemente por encima del límite de ≥ 4 mg/L establecido por el ECA. Los valores van desde 6.00 mg/L (Aa2, marzo 2021) hasta 8.07 mg/L (AA2, noviembre 2021), indicando una buena oxigenación en todas las zonas monitoreadas, lo que sugiere que este parámetro no se ve comprometido de manera crítica por la actividad minera en el periodo analizado.

Los datos de oxígeno disuelto (OD) en la Tabla 18 y Figura 8 muestran que las concentraciones se mantuvieron consistentemente altas y saludables en todas las estaciones del Río Oscocachi (6.00-8.07 mg/L), superando el estándar mínimo de ≥ 4 mg/L (o ≥ 5 mg/L para D2) del ECA Categoría 3 (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017). El marco teórico establece que niveles de OD por debajo de 5 mg/L son críticos para la vida acuática (López et al., 2019). Nuestros resultados indican que la actividad minera artesanal no ha provocado una depleción significativa del oxígeno en las secciones monitoreadas, lo que sugiere que la capacidad de re-aireación natural del río o la carga orgánica no han sido lo suficientemente elevadas para generar condiciones de hipoxia. Esta situación contrasta con Jiménez (2020) en La Rinconada documentó OD por debajo del ECA Categoría 4, indicando hipoxia, y Loza y Ccancapa (2020) encontraron un promedio de 2.84 ± 0.23 mg/L en un arroyo minero, valor significativamente inferior al nuestro y al límite ECA. Sin embargo, Mantari y Pinchi (2021) en Parcoy, Perú, también reportaron OD superior a 5 mg/L, considerándolo no crítico. La disparidad en los impactos en OD entre estudios sugiere que, si bien la minería puede reducir el oxígeno disuelto, en el Río Oscocachi, la resiliencia del ecosistema o las características específicas de las descargas no han comprometido este parámetro de manera crítica, al menos en los puntos y periodo evaluados aquí.

Tabla 19. Valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).

Punto	D.S. N°004-2017- MINAM- Categoría 3								
	marzo 2021	junio 2021	setiembre 2021	noviembre 2021	febrero 2022	junio 2022	setiembre 2022	diciembre 2022	
AA1	1	1	1	3	5	2	1	1	15.00
AA2	1	1	1	8	3	2	1	1	15.00
Aa1	1	4	3	7	4	6	11	34	15.00
Aa2	1	2	3	7	3	6	7	39	15.00

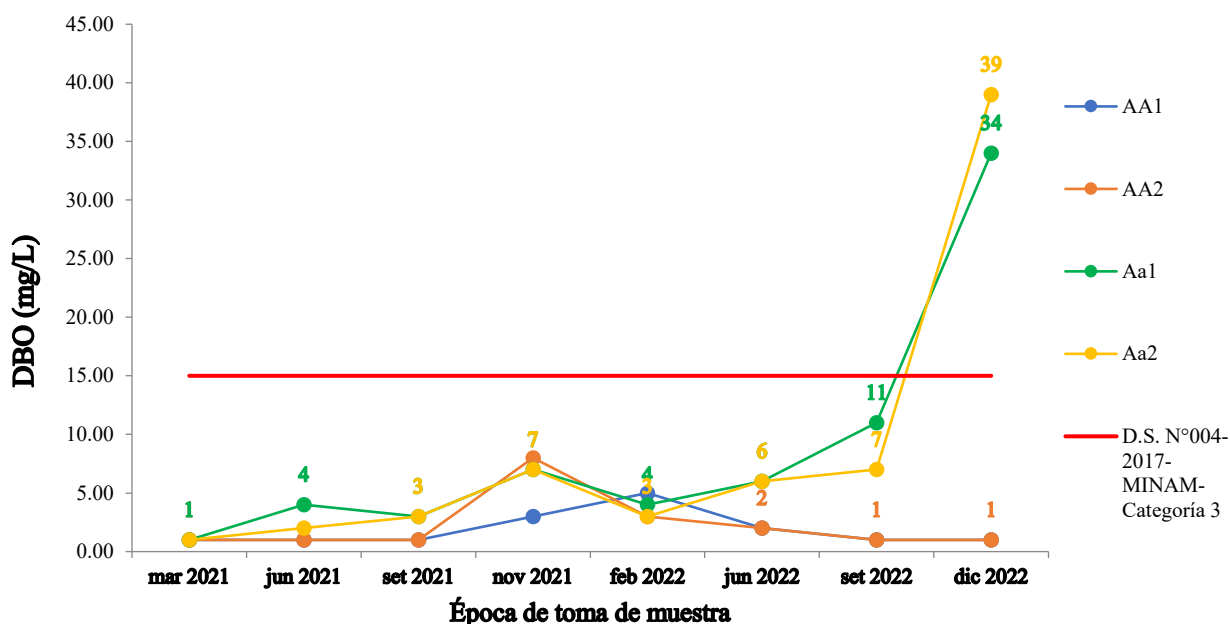


Figura 9. Variación temporal de los valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en las estaciones de monitoreo.

La Figura 9, que ilustra la variación temporal de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), revela un claro contraste entre las secciones del río. Las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) mantienen niveles bajos de DBO, principalmente alrededor de 1 mg/L, con picos ocasionales de 5 a 8 mg/L, manteniéndose cómodamente por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Categoría 3 de 15 mg/L. Sin embargo, las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) muestran un aumento significativo, especialmente en diciembre de 2022, donde Aa1 alcanzó 34 mg/L y Aa2 llegó a 39 mg/L, superando drásticamente los valores límite del ECA.

La Tabla 19, por otro lado, especifica que las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) reportaron valores mayormente entre 1 y 3 mg/L durante 2021-2022, con AA2 alcanzando 8 mg/L en noviembre de 2021. Las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) mostraron un rango más amplio, de 1 a 34 mg/L y de 1 a 39 mg/L respectivamente, destacando que, en diciembre de 2022, ambas superaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de 15 mg/L.

Los resultados del estudio revelan una marcada degradación en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) del río Oscocachi. Mientras que aguas arriba, las estaciones AA1 y AA2, presentan valores bajos de DBO (1-8 mg/L), lo cual es consistente con un ecosistema saludable, aguas abajo, las estaciones Aa1 y Aa2, muestran picos alarmantes de 34 mg/L y 39 mg/L, superando con creces el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de 15 mg/L (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017). Esta elevación abrupta, visualizada en la Figura 9 y cuantificada en la Tabla 19, sugiere una introducción masiva de materia orgánica biodegradable por la actividad minera artesanal, tal como lo describe Bueno (2021), que consume el oxígeno disuelto y puede llevar a condiciones de hipoxia (López et al., 2019). Karikari et al. (2022) en Ghana reportaron un promedio de DBO₅ de 4.58 mg/L, calificándolo de contaminación orgánica leve, valores que son significativamente menores que los picos observados aguas abajo en el Oscocachi. Vásquez (2024) en Cajamarca encontró valores de DBO₅ generalmente dentro del ECA de 15 mg/L, lo cual contrasta con nuestra situación. Sin embargo, Chirinos (2022) en Pasco identificó calificaciones "Pobre" en el río San Juan por DBO₅ debido a descargas mineras y residuales, un escenario que se alinea fuertemente con la situación de contaminación orgánica severa observada en el Oscocachi tras la influencia minera.

Tabla 20. Valores de demanda química de oxígeno (DQO) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).

Punto	marzo	junio	setiembre	noviembre	febrero	junio	setiembre	diciembre	D.S. N°004-
	2021	2021	2021	2021	2022	2022	2022	2022	2017-
									MINAM-
									Categoría 3
AA1	5	6	7	9	13	6	6	2.5	40.00
AA2	6	6	6	20	8	6	6	2.5	40.00
Aa1	6	10	9	16	7	8	20	60	40.00
Aa2	7	7	8	17	6	10	9	73	40.00

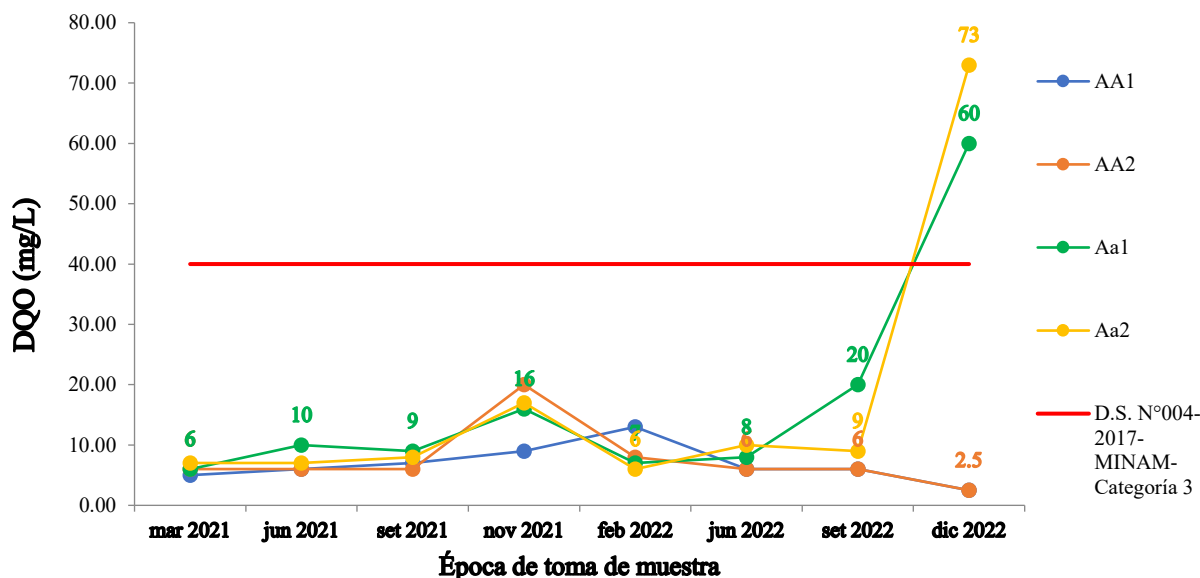


Figura 10. Variación temporal de los valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las estaciones de monitoreo

La Figura 10, que presenta la variación temporal de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), muestra una tendencia similar. Aguas arriba, los valores de DQO se mantienen bajos, generalmente por debajo de 13 mg/L, con un pico de 20 mg/L para AA2 en noviembre de 2021, muy por debajo del límite máximo permisible de los ECA para la Categoría 3 de 40 mg/L. En contraste, las estaciones aguas abajo exhiben incrementos pronunciados, destacando los 60 mg/L de Aa1 y 73 mg/L de Aa2 en diciembre de 2022, ambos superan los límites demostrando un claro incumplimiento de los ECA.

La Tabla 20 indica que las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) generalmente se mantuvieron por debajo de 13 mg/L, con AA2 llegando a 20 mg/L en noviembre de 2021. En contraste, las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) registraron valores de hasta 60 mg/L y 73 mg/L, respectivamente, en diciembre de 2022, rebasando los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de 40 mg/L.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el río Oscocachi sigue un patrón preocupantemente similar al de la DBO, evidenciando una fuerte correlación con la influencia minera artesanal. Las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) mantienen valores bajos (2.5-20 mg/L), dentro del ECA de 40 mg/L, reflejando una composición orgánica natural. Sin embargo, las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) muestran un aumento exponencial, con picos de 60 mg/L y 73 mg/L respectivamente, en diciembre de 2022, superando claramente el ECA (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017). Esta situación, plasmada en la Figura 10 y detallada en la Tabla 20, indica una adición significativa de materia orgánica total, incluyendo componentes menos biodegradables, lo

cual es un claro indicador de contaminación (Bueno, 2021). Si bien Vásquez (2024) en Cajamarca reportó valores de DQO dentro del límite de 40 mg/L, nuestros hallazgos sugieren una mayor intensidad de contaminación orgánica total, probablemente debido a los procesos de extracción y quemado de mineral que implican la liberación de sustancias químicas y residuos. Este aumento en DQO es una señal inequívoca de la degradación de la calidad del agua por la minería, que utiliza el río como un vector de contaminación, modificando su composición química y afectando su capacidad de autodepuración (ANA, 2018).

Tabla 21. Concentraciones de sulfatos en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).

Punto	marzo	junio	setiembre	noviembre	febrero	junio	setiembre	diciembre	D.S. N°004- 2017- MINAM- Categoría 3
	2021	2021	2021	2021	2022	2022	2022	2022	
AA1	3	6	14	2	8	8	10	16	1000.00
AA2	3	19	6	2	7	9	11	10	1000.00
Aa1	9	95	178	16	20	343	473	378	1000.00
Aa2	12	94	98	24	42	170	366	398	1000.00

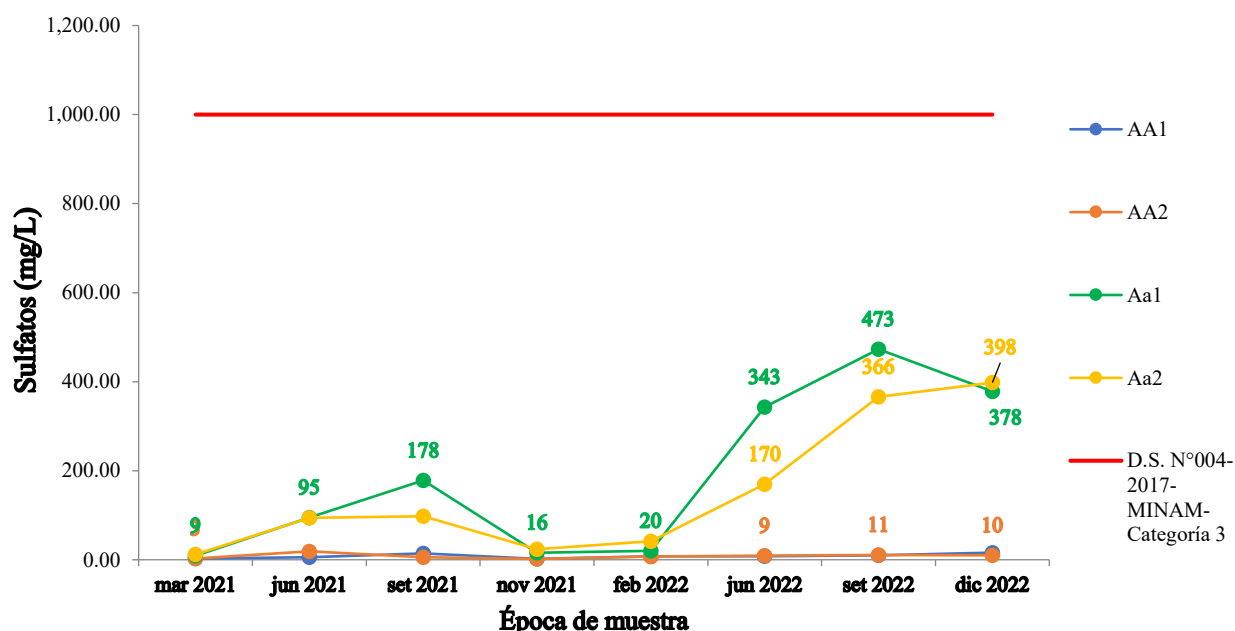


Figura 11. Variación temporal de las concentraciones de sulfatos en las estaciones de monitoreo

La Figura 11 grafica la variación temporal de las concentraciones de sulfatos, esta nos indica que las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) registran niveles muy bajos y estables, predominantemente por debajo de los 20 mg/L, muy por debajo de los Estándares de Calidad

Ambiental (ECA) Categoría 3 de 1000 mg/L. En notable contraste, las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) experimentan un aumento considerable en las concentraciones de sulfatos a lo largo del periodo, alcanzando picos de 473 mg/L para Aa1 y 398 mg/L para Aa2 a finales de 2022, aunque estos valores aún se encuentran por debajo del límite establecido en los ECA.

Por otro lado, la Tabla 21 revela que las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) tuvieron niveles consistentemente bajos, mayormente por debajo de 20 mg/L, muy lejos del límite establecido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de 1000 mg/L. Sin embargo, las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) mostraron un incremento notable, con Aa1 variando de 9 a 473 mg/L y Aa2 de 12 a 398 mg/L, aunque sin superar el ECA.

Las concentraciones de sulfatos en el río Oscocachi muestran un patrón claro de incremento asociado a la actividad minera artesanal, aunque sin exceder el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de 1000 mg/L (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017). Las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) registran valores bajos (2-19 mg/L), indicativos de un estado natural. Sin embargo, las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) muestran un aumento sustancial, alcanzando picos de 473 mg/L y 398 mg/L respectivamente, en septiembre de 2022 y diciembre de 2022, como se observa en la Figura 11 y la Tabla 21. Este patrón es consistente con la disolución de minerales expuestos durante las operaciones mineras, que liberan sulfatos al recurso hídrico (Chacón, 2016). Karikari et al. (2022) en Ghana reportaron un promedio de sulfatos de 7.87 mg/L, lo cual es significativamente menor que los valores observados aguas abajo en el Oscocachi. La presencia de sulfatos en concentraciones elevadas es un indicador de procesos de lixiviación que alteran la composición química del agua, aun cuando no superen el límite para potabilidad directa, sí señalan una mineralización creciente del río atribuible a la minería (Teves, 2016).

Tabla 22. Concentraciones de cloruros en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).

Punto	marzo	junio	setiembre	noviembre	febrero	junio	setiembre	diciembre	D.S. N°004-2017- MINAM- Categoría 3
	2021	2021	2021	2021	2022	2022	2022	2022	
AA1	2	1	4	1	5	1	0.5	0.5	500.00
AA2	0.5	0.5	1	1	4	0.5	5	2	500.00
Aa1	1	20	4	9	5	6	3	15	500.00
Aa2	1	12	3	13	14	6	3	20	500.00

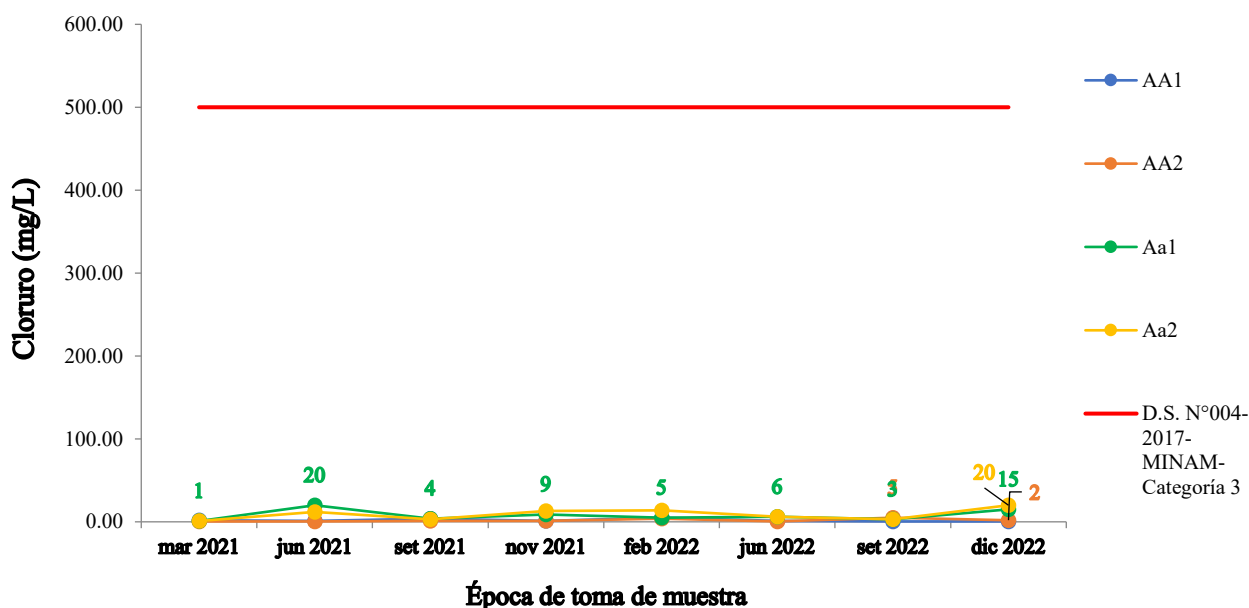


Figura 12. Variación temporal de las concentraciones de cloruros en las estaciones de monitoreo

La Figura 12 detalla la variación temporal de las concentraciones de cloruros, y nos muestra que las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) presentan niveles consistentemente bajos, casi siempre por debajo de 5 mg/L, lo que representa una mínima presencia de este ion y una gran distancia del Límite establecido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Categoría 3 de 500 mg/L. Aguas abajo (Aa1 y Aa2), se observa un incremento, con picos de hasta 20 mg/L en varias ocasiones, valores que, si bien están por debajo del ECA, son significativamente más altos que los registrados en las zonas no intervenidas.

La Tabla 22 reporta que las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) tuvieron valores muy bajos, predominantemente entre 0.5 y 5 mg/L, muy distantes de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de 500 mg/L. En las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2), las concentraciones se elevaron, con rangos de 1 a 20 mg/L en ambos casos, indicando un aumento significativo respecto a las zonas de referencia, aunque sin exceder el umbral establecido por los ECA.

En cuanto a las concentraciones de cloruros en el río Oscocachi, se observa un ligero aumento en los tramos aguas abajo de la actividad minera, pero los valores se mantienen consistentemente muy por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de 500 mg/L (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017). Las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) muestran concentraciones bajas (0.5-5 mg/L), lo cual es esperable en un río de montaña sin grandes influencias antrópicas. Aguas abajo (Aa1 y Aa2), aunque se registran valores máximos de 20 mg/L, estos no alcanzan niveles que representen un riesgo significativo directo para la salud humana según el marco teórico (Teves, 2016). La Figura 12 y la Tabla 22 reflejan esta tendencia, donde el incremento, aunque

perceptible, no es tan drástico como en otros parámetros. Este comportamiento sugiere que, si bien puede haber alguna aportación de cloruros asociada a los procesos mineros o actividades domésticas de los campamentos, esta no es la fuente principal de contaminación en la misma magnitud que la materia orgánica o algunos metales pesados.

4.2.3. Parámetros Metálicos:

Tabla 23. Concentraciones de mercurio (Hg) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).

Punto	D.S. N°004-2017- MINAM- Categoría 3								
	marzo 2021	junio 2021	setiembre 2021	noviembre 2021	febrero 2022	junio 2022	setiembre 2022	diciembre 2022	
AA1	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003	0.0010
AA2	0.0011	0.0004	0.001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0010
Aa1	0.0003	0.0009	0.0014	0.0004	0.0008	0.0001	0.002	0.0008	0.0010
Aa2	0.0004	0.0004	0.0004	0.0001	0.0009	0.0002	0.0034	0.0006	0.0010

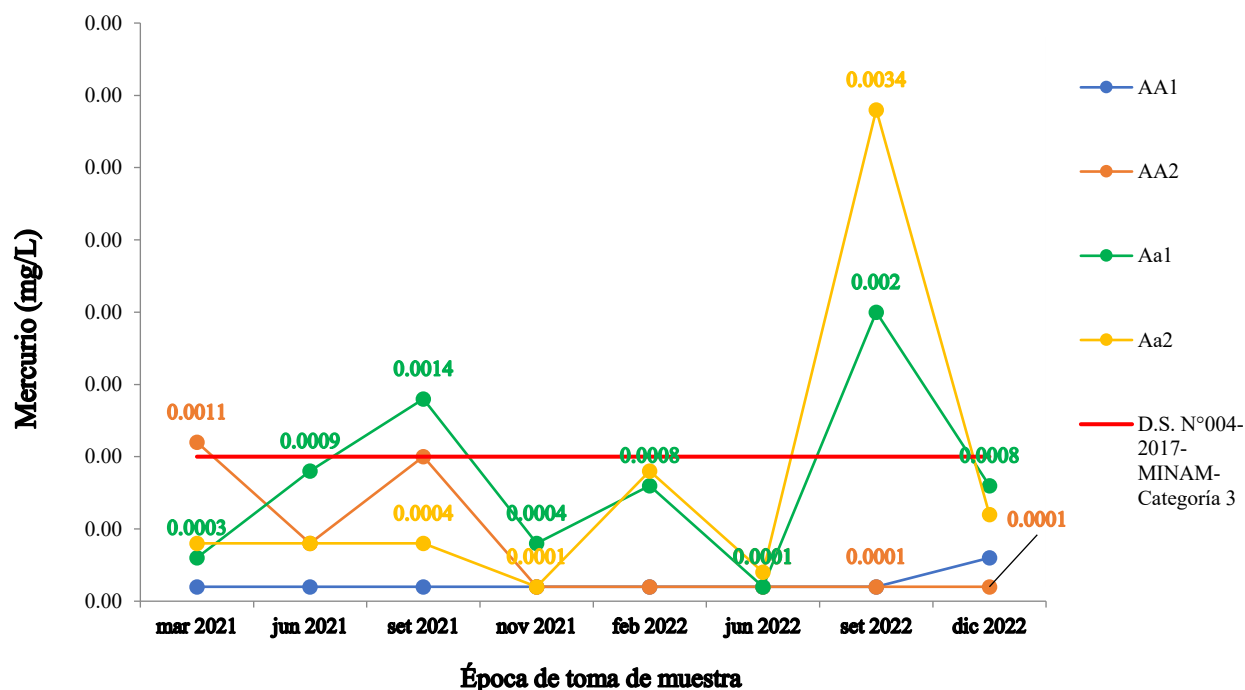


Figura 13. Variación temporal de las concentraciones de mercurio (Hg) en las estaciones de monitoreo

La Figura 13 revela un patrón interesante. Las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) muestran valores consistentemente bajos, con la mayoría en 0.0001 mg/L, aunque AA2 tuvo un pico de 0.0011 mg/L en marzo de 2021, superando el ECA. En contraste, las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) exhiben concentraciones notablemente más elevadas y fluctuantes, llegando a picos de 0.002 mg/L y 0.0034 mg/L respectivamente en septiembre de 2022, superando claramente el límite de 0.0010 mg/L del ECA. Este cambio indica una clara influencia en la calidad del agua río abajo.

Según la Tabla 23, las concentraciones de mercurio (Hg) en las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) se mantuvieron en niveles muy bajos, con la mayoría de los registros en 0.0001 mg/L. Sin embargo, AA2 presentó un valor de 0.0011 mg/L en marzo de 2021, superando ligeramente el ECA de 0.0010 mg/L. En contraste, las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) mostraron concentraciones que fluctuaron considerablemente, con Aa1 registrando un máximo de 0.0020 mg/L en septiembre de 2022, y Aa2 alcanzando 0.0034 mg/L en el mismo mes, valores que exceden el ECA de manera significativa.

Los resultados de la Figura 13 y la Tabla 23 en el río Oscocachi muestran un incremento preocupante del mercurio en las estaciones aguas abajo, con picos de 0.0020 mg/L en Aa1 y 0.0034 mg/L en Aa2, superando el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de 0.0010 mg/L. Esto concuerda con lo descrito en el marco teórico, donde la minería artesanal es identificada como una fuente principal de contaminación por mercurio (ANA, 2018; EPA, 2021). De hecho, estudios en Madre de Dios, como el de Castro (2021), reportaron concentraciones de mercurio en el río Huaypetuhe de 0.0007 mg/L, siete veces el ECA, y la comunidad percibía una contaminación "muy alta". Asimismo, Loza y Ccancapa (2020) en Puno encontraron niveles de hasta 0.00043 mg/L, también por encima del ECA, con una fuerte correlación inversa con el pH ($r = -0.752$, $p = 0.005$), lo que sugiere que la acidificación del agua —un fenómeno común en la minería— facilita su movilización. La presencia de mercurio en estas concentraciones aguas abajo, mientras las estaciones aguas arriba se mantienen en 0.0001 mg/L o menos (AA1), apunta directamente a la actividad minera como el detonante principal de esta degradación.

Tabla 24. Concentraciones de aluminio (Al) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM)

Punto	marzo	junio	setiembre	noviembre	febrero	junio	setiembre	diciembre	D.S. N°004-
	2021	2021	2021	2021	2022	2022	2022	2022	2017-
									MINAM-
									Categoría 3
AA1	0.074	0.497	0.514	0.183	0.074	0.074	0.074	0.313	5.00

AA2	0.074	0.074	0.074	0.522	0.074	0.074	0.074	0.074	5.00
Aa1	2.084	7.439	9.266	5.946	8.075	27.529	26.766	20.635	5.00
Aa2	2.299	5.298	7.526	9.646	9.659	9.509	26.706	23.676	5.00

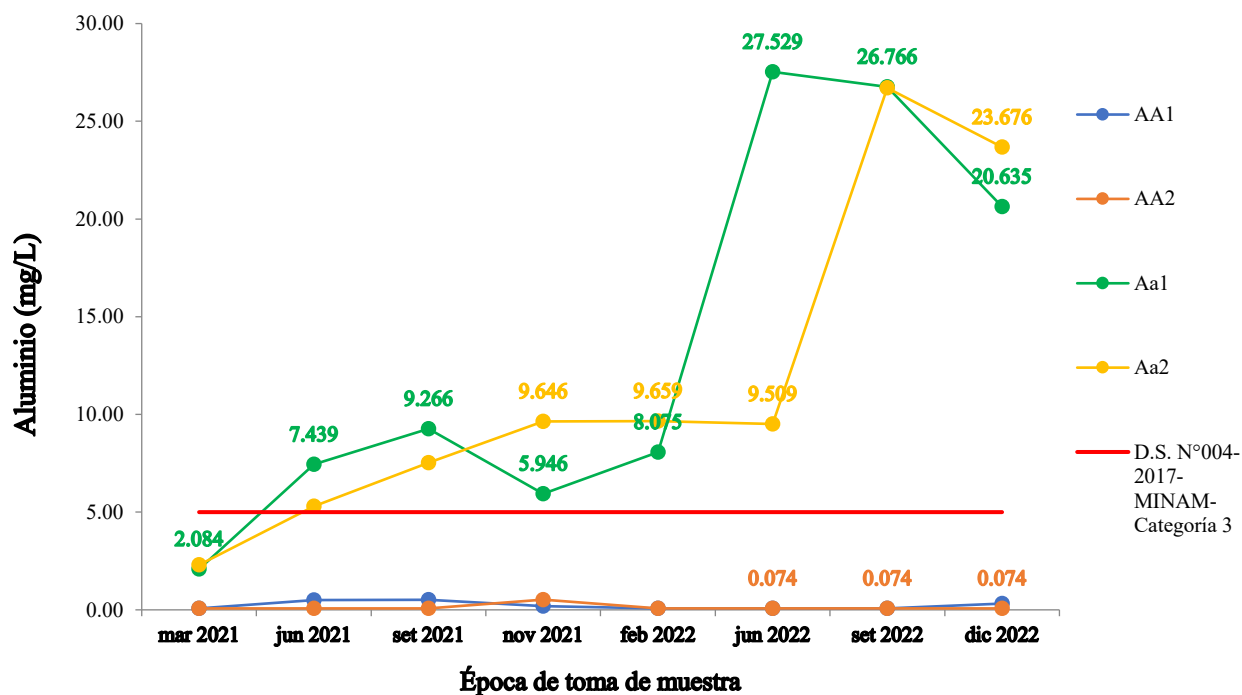


Figura 14. Variación temporal de las concentraciones de aluminio (Al) en las estaciones de monitoreo

En la Figura 14 se observa una clara divergencia entre las secciones del río. Las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) mantienen niveles bajos, y una estabilidad notable, oscilando generalmente entre 0.074 y 0.514 mg/L, manteniéndose muy por debajo del ECA de 5.000 mg/L. Sin embargo, las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) presentan concentraciones significativamente más altas acompañadas de una volatilidad extrema, con múltiples picos que superan el ECA. Esta inestabilidad sugiere la ocurrencia de aportes discontinuos pero intensos de carga contaminante asociados a los ciclos operativos. Por ejemplo, Aa1 alcanzó 27.529 mg/L en junio de 2022, y Aa2 llegó a 26.706 mg/L en septiembre de 2022, reflejando un incremento drástico en la presencia de este metal que llega a superar en más de cinco veces el límite normativo permitido, situación crítica que compromete severamente la biota acuática y valida la hipótesis de una alteración geoquímica profunda provocada por la actividad extractiva.

Por otro lado, la Tabla 24 indica que las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) muestran valores que oscilan entre 0.074 y 0.522 mg/L, manteniéndose consistentemente por debajo del ECA

de 5.000 mg/L. Esta situación refleja condiciones ambientales relativamente estables y no impactadas en la sección superior del curso de agua. No obstante, en las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2), las concentraciones de aluminio se dispararon, con Aa1 registrando un rango de 2.084 a 27.529 mg/L, y Aa2 entre 2.299 y 26.706 mg/L. La mayoría de los valores río abajo exceden holgadamente el ECA, lo que indica una severa alteración. La marcada diferencia entre los tramos sugiere la presencia de una o múltiples fuentes de contaminación puntuales entre ambos sectores, posiblemente relacionadas con descargas industriales o escorrentías de actividades mineras.

Las Figuras 14 y la Tabla 24 revelan un aumento alarmante en las concentraciones de aluminio en el río Oscocachi aguas abajo, alcanzando hasta 27.529 mg/L en Aa1 y 26.706 mg/L en Aa2, superando con creces el ECA de 5.000 mg/L. Esto difiere significativamente de los hallazgos de Vásquez (2024) en Cajamarca, donde las concentraciones de aluminio se mantuvieron por debajo de 5 mg/L. Sin embargo, el marco teórico explica que el aluminio, aunque abundante en la corteza terrestre, su solubilidad y, por ende, su concentración en aguas naturales, está fuertemente modulada por el pH. En condiciones ácidas, su disponibilidad aumenta drásticamente (ANA, 2018; Lenntech, 2019). Este patrón en el Oscocachi es un indicador clave de drenaje ácido de mina, donde la acidificación liberaría el aluminio de las rocas y suelos circundantes, movilizándolo hacia el cuerpo de agua y generando un impacto ambiental considerable que contrasta con las condiciones casi inalteradas (valores de 0.074 a 0.522 mg/L) observadas aguas arriba.

Tabla 25. Concentraciones de arsénico (As) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).

Punto									D.S. N°004-
	marzo 2021	junio 2021	setiembre 2021	noviembre 2021	febrero 2022	junio 2022	setiembre 2022	diciembre 2022	2017- MINAM- Categoría 3
AA1	0.001	0.001	0.0005	0.0005	0.002	0.0005	0.0005	0.0005	0.10
AA2	0.001	0.0005	0.0005	0.002	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.10
Aa1	0.025	0.042	0.012	0.102	0.091	0.315	0.22	0.866	0.10
Aa2	0.015	0.019	0.011	0.181	0.095	0.039	0.267	0.829	0.10

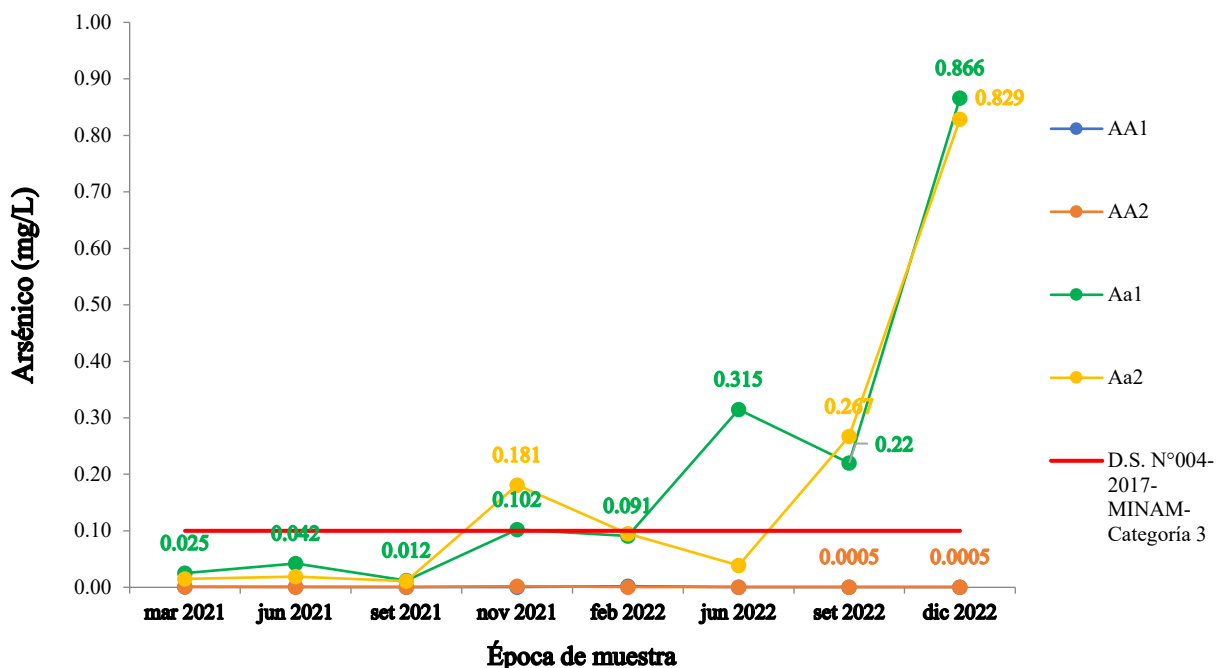


Figura 15. Variación temporal de las concentraciones de arsénico (As) en las estaciones de monitoreo

La Figura 15, que detalla la variación temporal de las concentraciones de arsénico (As), también exhibe una marcada diferencia entre las zonas del río. En las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2), los niveles de arsénico se mantuvieron extremadamente bajos, con valores que rara vez superaron los 0.002 mg/L, muy por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Categoría 3 de 0.10 mg/L. Sin embargo, en las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2), se registra un incremento exponencial, con concentraciones que frecuentemente exceden el ECA. Destacan picos de 0.866 mg/L en Aa1 y 0.829 mg/L en Aa2, ambos en diciembre de 2022, lo que evidencia una contaminación significativa aguas abajo.

Con respecto al arsénico (As), la Tabla 25 nos indica que las concentraciones en las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) fueron mínimas, con valores entre 0.0005 y 0.002 mg/L, muy inferiores al ECA de 0.10 mg/L. Sin embargo, las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) revelan un aumento preocupante. Aa1 mostró concentraciones que variaron de 0.012 a 0.866 mg/L, mientras que Aa2 osciló entre 0.011 y 0.829 mg/L. En ambas secciones aguas abajo, varios registros superaron el ECA de 0.10 mg/L, especialmente en diciembre de 2022.

Los datos de las Figuras 15 y la Tabla 25 evidencian un salto dramático en las concentraciones de arsénico en el río Oscocachi. Mientras que aguas arriba los niveles son insignificantes (máximo 0.002 mg/L), aguas abajo se registran picos de 0.866 mg/L en Aa1 y 0.829 mg/L en Aa2, rebasando el ECA de 0.10 mg/L por un factor de ocho. Esta situación se alinea con Mantari y Pinchi (2021)

en La Libertad, donde puntos específicos excedieron el máximo permitido por el ECA de 0.1 mg/L, y Vásquez (2024) en Cajamarca, quien reportó transgresiones con valores entre 0.30323 y 0.8093 mg/L, superando consistentemente el ECA. Aunque el arsénico puede tener un origen geogénico (ANA, 2018), su incremento exponencial y concentraciones elevadas sugieren un fuerte aporte antropogénico, especialmente de la minería, que lo moviliza y lo incorpora a la cadena trófica, representando un riesgo toxicológico significativo (Lenntech, 2019), un patrón que no se observa en el río Suches donde Salas-Ávila et al. (2021) encontraron As de 0.78 a 6.62 $\mu\text{g/L}$, pero bajo el ECA para agua, aunque sí en sedimentos.

Tabla 26. Concentraciones de cadmio (Cd) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM)

Punto	D.S. N°004-2017-MINAM-Categoría 3								
	marzo 2021	junio 2021	setiembre 2021	noviembre 2021	febrero 2022	junio 2022	setiembre 2022	diciembre 2022	
AA1	0.0015	0.0015	0.005	0.005	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0100
AA2	0.005	0.006	0.006	0.004	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0100
Aa1	0.005	0.007	0.011	0.007	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0100
Aa2	0.006	0.006	0.007	0.005	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0100

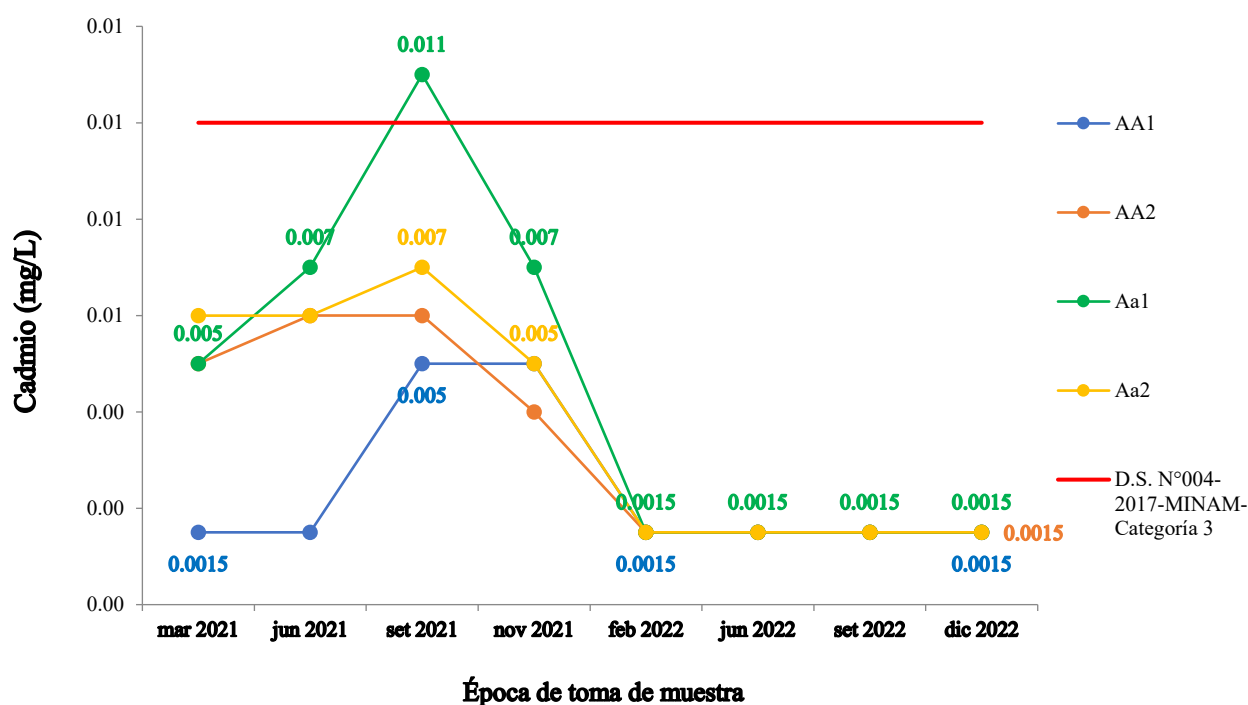


Figura 16. Variación temporal de las concentraciones de cadmio (Cd) en las estaciones de monitoreo

La Figura 16, que representa la variación temporal de las concentraciones de cadmio (Cd), muestra niveles generalmente bajos en todas las estaciones. En las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2), las concentraciones se mantienen en el rango de 0.0015 a 0.006 mg/L, sin superar el ECA de 0.0100 mg/L. En las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2), aunque los valores son ligeramente más altos en algunos puntos, la mayoría se mantiene por debajo o muy cerca del límite, con la excepción de Aa1, que en septiembre de 2021 alcanzó 0.011 mg/L, excediendo marginalmente el ECA. La variabilidad no es tan drástica como en otros metales.

La Tabla 26, por otro lado, revela que la mayoría de los valores en todas las estaciones (AA1, AA2, Aa1 y Aa2) se mantuvieron por debajo del ECA de 0.0100 mg/L, con un rango general de 0.0015 a 0.007 mg/L. Sin embargo, la estación Aa1 registró una concentración de 0.011 mg/L en septiembre de 2021, lo que representa una ligera excedencia del ECA. A pesar de este punto, el cadmio no exhibió la misma magnitud de contaminación ni la misma dispersión observada en otros metales.

Las Figuras 16 y la Tabla 26 muestran que las concentraciones de cadmio en el río Oscocachi, si bien no son tan drásticas como otros metales, presentan una ligera elevación en algunos puntos aguas abajo. La mayoría de los valores se mantienen por debajo del ECA de 0.0100 mg/L, aunque Aa1 registró una ligera excedencia con 0.011 mg/L en septiembre de 2021. Esta situación contrasta con Salas-Ávila et al. (2021), quienes encontraron cadmio por debajo de los límites de detección en agua en el río Suches, pero en sus sedimentos sí superó el límite.

Por otro lado, Mantari y Pinchi (2021) reportaron que varios puntos en el río Parcoy superaron el valor límite establecido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) categoría 3 de 0.01 mg/L, y Vásquez (2024) documentó transgresiones en Cajamarca con valores entre 0.0146 y 0.02964 mg/L, excediendo el ECA. El marco teórico explica que el cadmio, a menudo asociado al zinc y plomo, es un indicador de intervención humana cuando sus concentraciones aumentan (ANA, 2018; Lenntech, 2019). Aunque su impacto en el Oscocachi es menos pronunciado en comparación con otros metales, la presencia de excedencias, incluso leves, en las zonas mineras aguas abajo sugiere una contribución, aunque sea mínima, de las actividades extractivas a la carga de cadmio en el ecosistema.

Tabla 27. Concentraciones de cobalto (Co) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).

Punto	marzo	junio	setiembre	noviembre	febrero	junio	setiembre	diciembre	D.S. N°004- 2017- MINAM- Categoría 3
	2021	2021	2021	2021	2022	2022	2022	2022	
AA1	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.050
AA2	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.050
Aa1	0.004	0.051	0.083	0.030	0.004	0.172	0.173	0.128	0.050
Aa2	0.016	0.037	0.068	0.039	0.028	0.102	0.148	0.188	0.050

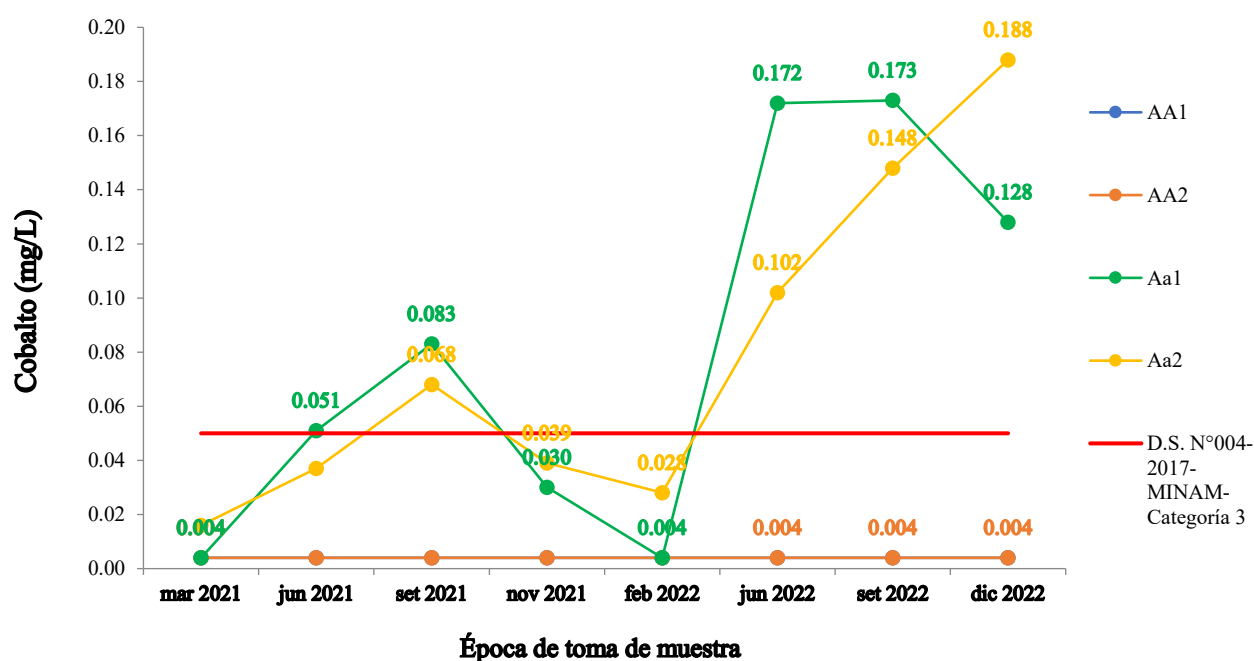


Figura 17. Variación temporal de las concentraciones de cobalto (Co) en las estaciones de monitoreo

La Figura 17 ilustra la evolución temporal de las concentraciones de cobalto en el Río Oscocachi. Las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) muestran niveles consistentemente bajos y estables, generalmente por debajo de 0.010 mg/L, lo que sugiere una condición prístina o con mínima afectación. En contraste, las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) exhiben un patrón de incremento notorio y fluctuante. En Aa1, los valores ascienden a picos como 0.172 mg/L en junio de 2022 y 0.173 mg/L en septiembre del mismo año, mientras que en Aa2 se alcanzan hasta 0.188 mg/L en

diciembre de 2022, superando significativamente los niveles de las estaciones superiores. Este patrón evidencia una clara influencia de las actividades en la parte media y baja del río.

La Tabla 27 presentan valores promedio muy bajos, alrededor de 0.004 mg/L, y un rango estrecho que se mantiene siempre por debajo del ECA para categoría 3 (0.05 mg/L para riego de vegetales, 1 mg/L para bebida de animales). Sin embargo, en las estaciones aguas abajo, Aa1 y Aa2, las concentraciones promedio aumentan a 0.081 mg/L y 0.078 mg/L, respectivamente. Aunque el rango de 0.004 a 0.173 mg/L en Aa1 y de 0.016 a 0.188 mg/L en Aa2 no excede el límite de 1 mg/L para bebida de animales, sí superan consistentemente el límite de 0.05 mg/L para riego de vegetales en la mayoría de las mediciones de los años 2021 y 2022. La variabilidad, con coeficientes de variación del 86.842% en Aa1 y 79.693% en Aa2, también es considerable, indicando una dispersión importante en los datos.

Los hallazgos con un claro incremento en las concentraciones de cobalto en las estaciones aguas abajo del Río Oscocachi, superando el ECA de 0.05 mg/L para riego de vegetales, nos ponen sobre aviso. El patrón de aumento que vemos aguas abajo es una señal inequívoca de la alteración química del río por la actividad minera artesanal. La minería, al remover y exponer rocas, puede movilizar metales que, aunque no sean el foco principal de extracción, se liberan al ambiente. Por ejemplo, el arsénico, un metal pesado tóxico, se presenta de forma natural asociado al cobalto en minerales como la cobaltita (CoAsS) (Lenntech, 2019). Aunque no podemos hacer comparaciones numéricas directas, la tendencia es congruente con la expectativa de que las actividades extractivas introduzcan una gama más amplia de elementos en el ecosistema fluvial, degradando la calidad del agua.

Tabla 28. Concentraciones de cobre (Cu) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).

Punto	marzo	junio	setiembre	noviembre	febrero	junio	setiembre	diciembre	D.S. N°004-
	2021	2021	2021	2021	2022	2022	2022	2022	2017- MINAM- Categoría 3
AA1	0.003	0.003	0.014	0.016	0.003	0.003	0.003	0.006	0.200
AA2	0.01	0.003	0.003	0.02	0.003	0.003	0.003	0.003	0.200
Aa1	0.018	0.029	0.046	0.036	0.03	0.077	0.108	0.084	0.200
Aa2	0.015	0.026	0.039	0.042	0.042	0.031	0.077	0.089	0.200

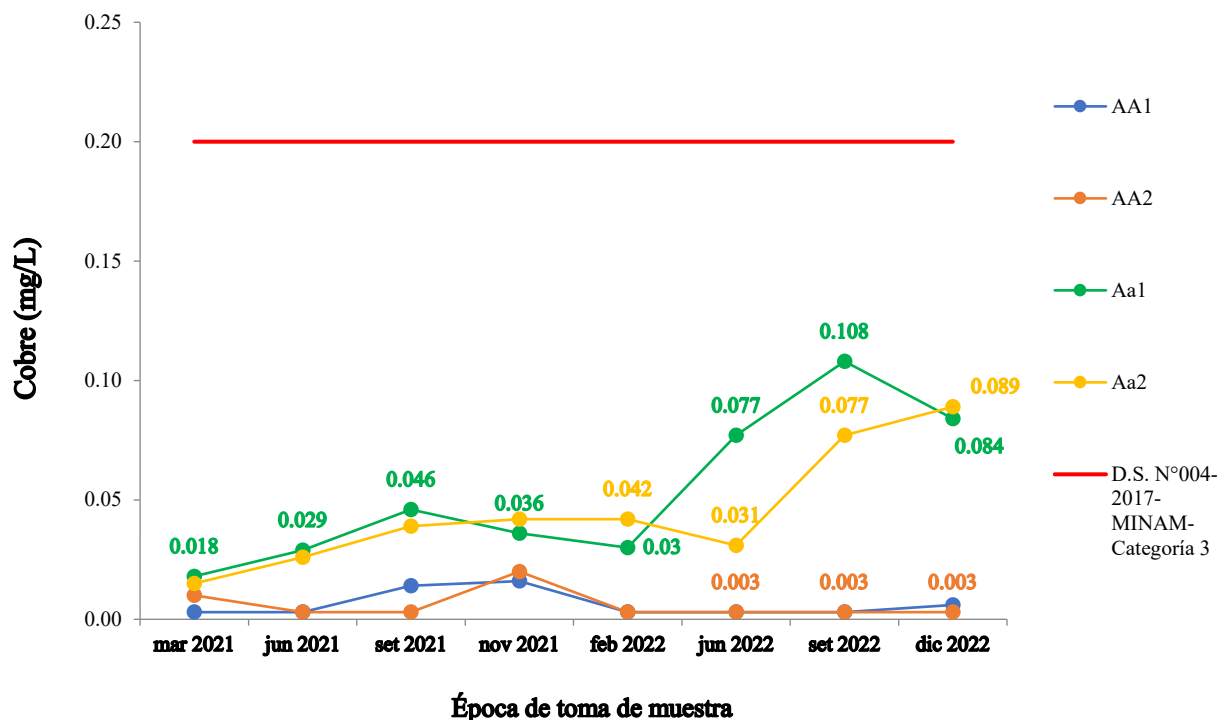


Figura 18. Variación temporal de las concentraciones de cobre (Cu) en las estaciones de monitoreo

La Figura 18 evidencia un comportamiento temporal de las concentraciones de cobre en el Río Oscocachi. En las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2), los niveles de cobre se mantienen muy bajos y estables, generalmente por debajo de 0.020 mg/L, con pocas variaciones. Por el contrario, en las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2), se observa un aumento marcado y fluctuante en las concentraciones. En Aa1, los valores alcanzan picos de 0.108 mg/L en septiembre de 2022 y 0.084 mg/L en diciembre de 2022. De manera similar, en Aa2 se registran valores de hasta 0.089 mg/L en diciembre de 2022. Este incremento en las zonas posteriores a la actividad minera resalta una clara influencia antrópica sobre la composición del agua. Los episodios de elevada concentración coinciden con periodos de mayor actividad extractiva o con eventos de precipitación que movilizan materiales. La tendencia general en estos puntos muestra una alta variabilidad, con mínimos que se aproximan a los niveles base, pero con repuntes abruptos y recurrentes.

La Tabla 28 muestra las concentraciones de cobre en el Río Oscocachi. Las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) presentan promedios bajos, de 0.006 mg/L, y valores que oscilan entre 0.003 y 0.020 mg/L, manteniéndose cómodamente por debajo del ECA de 0.2 mg/L para riego de vegetales y 0.5 mg/L para bebida de animales. Sin embargo, en las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2), los promedios suben a 0.054 mg/L y 0.045 mg/L, respectivamente. Aunque estos valores promedio se mantienen por debajo del ECA, algunas mediciones individuales en Aa1 (como 0.108 mg/L en septiembre de 2022) y Aa2 (como 0.089 mg/L en diciembre de 2022) se acercan al límite

de 0.2 mg/L, lo que sugiere una preocupación emergente, especialmente para el uso en riego. La variabilidad es alta en estas estaciones, con coeficientes de 60.063% y 56.005%, indicando una dispersión significativa en los datos.

Los resultados del Río Oscocachi, mostrando un aumento significativo en las concentraciones de cobre aguas abajo de la actividad minera artesanal, con valores que, aunque no exceden el ECA de 0.2 mg/L de manera general, se acercan a él, son coherentes con la literatura. El marco teórico (ANA, 2018) ya nos advierte que niveles elevados de cobre en aguas naturales son un indicador crítico de descargas industriales y mineras, pues la actividad antrópica supera la abundancia geológica como factor determinante. Si comparamos con Mantari y Pinchi (2021) en Parcoy, donde reportaron que el cobre estuvo por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Categoría 3, en todos sus puntos, aunque también aumentando en la parte baja, coincidiendo con lo observado en Oscocachi. Por otro lado, Vásquez (2024) en Hualgayoc sí encontró transgresiones del ECA (0.2-0.5 mg/L) para cobre, con valores entre 0.5764 y 1.933 mg/L, lo que evidencia que la contaminación por cobre en contextos mineros puede ser mucho más severa. Karikari et al. (2022) en Ghana, con un promedio de 0.009 mg/L, mostraron valores bajos pero correlacionados con fuentes antropogénicas. Aunque las concentraciones en Oscocachi no son tan alarmantes como en Hualgayoc, el patrón de aumento aguas abajo es una clara huella de la minería artesanal, que, como lo señala Marín y Vélez (2018), es una fuente común de cobre en el procesamiento de oro.

Tabla 29. Concentraciones de hierro (Fe) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).

Punto	marzo	junio	setiembre	noviembre	febrero	junio	setiembre	diciembre	D.S. N°004-
	2021	2021	2021	2021	2022	2022	2022	2022	2017- MINAM- Categoría 3
AA1	0.08	0.08	0.775	0.53	0.249	0.0065	0.059	0.618	5.000
AA2	0.229	0.167	0.178	0.929	0.348	0.042	0.109	0.203	5.000
Aa1	5.592	20.246	22.946	17.989	25.738	111.859	135.569	86.627	5.000
Aa2	6.48	12.459	16.232	29.812	29.468	21.986	116.102	118.786	5.000

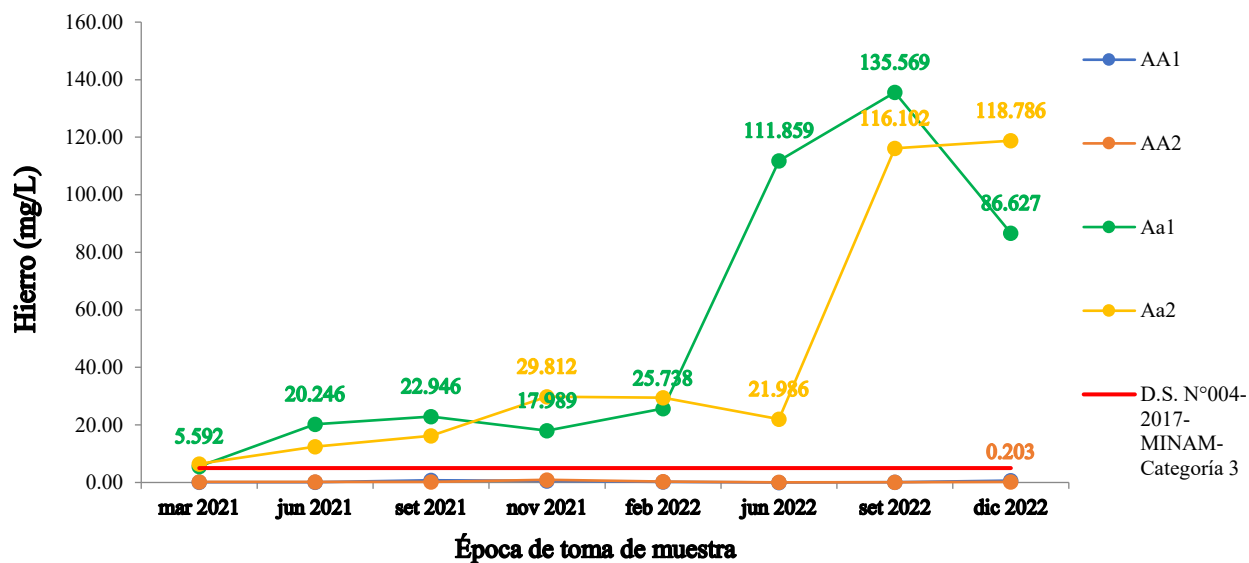


Figura 19. Variación temporal de las concentraciones de hierro (Fe) en las estaciones de monitoreo

La Figura 19 ilustra la dinámica del hierro en el Río Oscocachi a lo largo del periodo de estudio. Las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) exhiben concentraciones notablemente bajas y con poca variabilidad, oscilando entre 0.0065 mg/L y 0.929 mg/L. Sin embargo, el panorama cambia drásticamente en las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2). Aquí, los niveles de hierro se disparan exponencialmente, alcanzando picos alarmantes como 135.569 mg/L en Aa1 y 118.786 mg/L en Aa2, ambos en septiembre y diciembre de 2022, respectivamente. Las variaciones son extremas en estas zonas, demostrando que la actividad minera artesanal tiene un impacto directo y abrumador en la carga de hierro del río.

Por otro lado, como se puede observar en la Tabla 29, las estaciones AA1 y AA2 (aguas arriba) tienen promedios muy bajos (0.300 mg/L y 0.276 mg/L, respectivamente), manteniéndose bien por debajo del ECA para categoría 3 (5.000 mg/L). Sin embargo, en las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2), las concentraciones se disparan de forma alarmante. En Aa1, el promedio es de 53.321 mg/L, con valores que van desde 5.592 mg/L hasta 135.569 mg/L. En Aa2, el promedio es de 43.916 mg/L, con un rango de 6.480 mg/L a 118.786 mg/L. Todas las mediciones en Aa1 y Aa2 exceden el límite de 5.000 mg/L del ECA, muchas de ellas por un factor de 10 a más de 20 veces, lo que subraya una contaminación crítica.

Los resultados del Río Oscocachi son contundentes: las concentraciones de hierro se disparan exponencialmente en las estaciones aguas abajo, excediendo el ECA de 5 mg/L en rangos que llegan hasta los 135 mg/L. Esto es una clara señal de la influencia minera. El marco teórico (ANA, 2018) nos explica que, si bien el hierro es abundante en la corteza, sus concentraciones en aguas naturales suelen ser exiguas, y que su movilización está ligada al pH, siendo soluble en

condiciones ácidas. Este es precisamente el escenario de drenaje ácido de mina, donde la alteración del pH facilita la liberación de metales. Mantari y Pinchi (2021), aunque no reportaron valores por encima del ECA, estos alcanzaron valores superiores a los 2.0 mg/L. en Parcoy. Vásquez (2024) en Hualgayoc encontró transgresiones aún mayores, con valores entre 12.71 mg/L y 44.01 mg/L, superando consistentemente el ECA de 5 mg/L y aumentando significativamente después de los vertimientos. Ngounouno et al. (2022) en Camerún también documentaron que el hierro excedió los límites de la OMS (0.3 mg/L) y Karikari et al. (2022) en Ghana encontraron que el hierro (promedio 7.28 mg/L) excedía el valor de fondo de 0.3 mg/L y se correlacionaba con SST y turbidez, sugiriendo fuentes antropogénicas. Se confirma que la minería artesanal en Oscocachi está movilizandando hierro a niveles que no solo superan los estándares ambientales, sino que reflejan un patrón de contaminación documentado en otras regiones mineras.

Tabla 30. Concentraciones de plomo (Pb) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).

Punto	marzo	junio	setiembre	noviembre	febrero	junio	setiembre	diciembre	D.S. N°004-2017-MINAM-Categoría 3
	2021	2021	2021	2021	2022	2022	2022	2022	
AA1	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0500
AA2	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0500
Aa1	0.0055	0.0055	0.0220	0.0055	0.0055	0.0490	0.0680	0.0810	0.0500
Aa2	0.0055	0.0055	0.0210	0.0055	0.0055	0.0055	0.0550	0.0660	0.0500

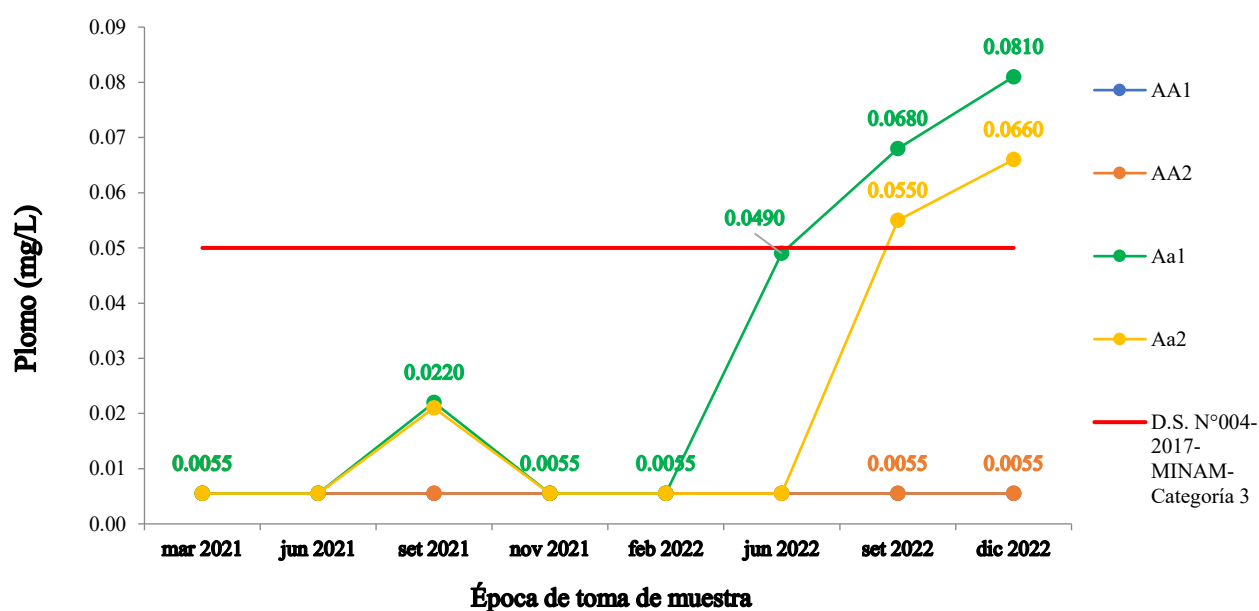


Figura 20. Variación temporal de las concentraciones de plomo (Pb) en las estaciones de monitoreo

La Figura 20 ilustra la variación temporal de las concentraciones de plomo en el Río Oscocachi. En las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2), los niveles de plomo son consistentemente bajos, por debajo de 0.006 mg/L, y con una estabilidad notable, manteniéndose lejos del ECA de 0.05 mg/L. Sin embargo, en las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2), se observa un incremento progresivo y significativo. En Aa1, los valores alcanzan picos de 0.081 mg/L en diciembre de 2022 y 0.068 mg/L en septiembre de 2022. En Aa2, se registran hasta 0.066 mg/L en diciembre de 2022. Este aumento después de la zona minera es una clara evidencia de la liberación de plomo asociada a la actividad extractiva.

La Tabla 30 presenta las concentraciones de plomo en el Río Oscocachi. Las estaciones AA1 y AA2 (aguas arriba) muestran promedios muy bajos (0.006 mg/L), con valores uniformes de 0.0055 mg/L en la mayoría de las mediciones, manteniéndose muy por debajo del ECA de 0.050 mg/L para categoría 3. No obstante, en las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2), las concentraciones promedio aumentan a 0.030 mg/L y 0.021 mg/L, respectivamente. A pesar de que los promedios no superan el ECA, las mediciones individuales en Aa1 (hasta 0.081 mg/L en diciembre de 2022 y 0.068 mg/L en septiembre de 2022) y en Aa2 (hasta 0.066 mg/L en diciembre de 2022 y 0.055 mg/L en septiembre de 2022) exceden claramente el límite de 0.050 mg/L. Estos picos reflejan un impacto directo y preocupante de la minería artesanal.

El plomo en el Río Oscocachi muestra un patrón preocupante: mientras las estaciones aguas arriba presentan valores estables y muy por debajo del ECA, las estaciones aguas abajo exhiben picos que superan el límite de 0.05 mg/L. El marco teórico (ANA, 2018) nos recuerda que el plomo, aunque presente en bajas concentraciones naturales, se solubiliza y moviliza en condiciones de ligera acidez, lo que facilita su ingreso a los sistemas hídricos, una característica del drenaje ácido de mina. Además, se enfatiza que es tóxico para la biota acuática. Salas-Ávila et al. (2021) en el Río Suches reportaron valores de plomo de 0.58-5.45 $\mu\text{g/L}$ (0.00058-0.00545 mg/L), que estaban por debajo de su ECA de 50 $\mu\text{g/L}$ (0.05 mg/L), pero el plomo en Oscocachi está superando ese límite en varios momentos. Así mismo, Mantari y Pinchi (2021) hallaron que el plomo no excedía el ECA en las aguas superficiales del río Parcoy (0.031 mg/L.). Ngounouno et al. (2022) en Camerún también informaron que el plomo (0.2 mg/L) excedía los límites de la OMS (0.01 mg/L) y Karikari et al. (2022) en Ghana encontraron que el promedio y el valor máximo de plomo (hasta 1.640 mg/L) superaron significativamente el umbral de la OMS de 0.01 mg/L. Finalmente, el plomo es un contaminante persistente en zonas mineras, y su presencia, como señalan Marín y Vélez (2018), es común en el procesamiento de oro, lo que confirma que la minería artesanal es la causa principal de su aparición en niveles críticos.

La recurrencia de estos picos de concentración, que coinciden con periodos de mayor intensidad de la actividad minera, sugiere una descarga intermitente y no controlada de efluentes. Este patrón de liberación puntual demanda evaluar no solo el promedio sino la frecuencia de los excedentes, ya que impacta directamente en la capacidad de autodepuración del río y en la exposición crónica de la biota.

Tabla 31. Concentraciones de zinc (Zn) en las estaciones de monitoreo del Río Oscocachi (2021-2022) y su comparación con el ECA-Agua (D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3).

Punto	marzo 2021	junio 2021	setiembre 2021	noviembre 2021	febrero 2022	junio 2022	setiembre 2022	diciembre 2022	D.S. N°004-2017-MINAM-Categoría 3
AA1	0.0030	0.0030	0.0410	0.0350	0.0080	0.0030	0.0080	0.0220	2.000
AA2	0.0320	0.0550	0.1130	0.0470	0.0140	0.0030	0.0140	0.0130	2.000
Aa1	0.0940	0.3130	0.4850	0.1630	0.1410	0.6180	0.6650	0.6180	2.000
Aa2	0.1120	0.2450	0.3810	0.2170	0.1720	0.3490	0.6320	0.7580	2.000

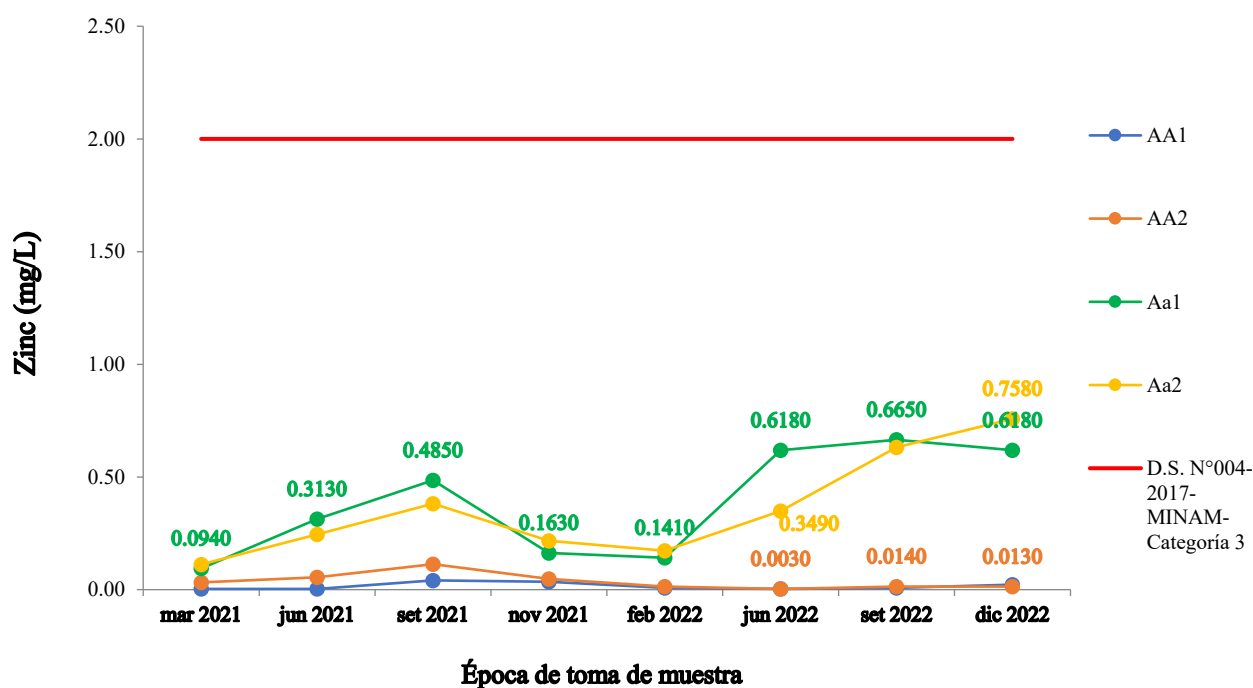


Figura 21. Variación temporal de las concentraciones de zinc (Zn) en las estaciones de monitoreo

La Figura 21 muestra la variación temporal de las concentraciones de zinc en el Río Oscocachi. Las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) presentan niveles bajos y relativamente estables, oscilando entre 0.0030 mg/L y 0.1130 mg/L, muy por debajo de los límites de 2.0000

mg/L. Sin embargo, en las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2), se observa un aumento progresivo y fluctuante en las concentraciones. En Aa1, los valores alcanzan picos de 0.6650 mg/L y 0.6180 mg/L en septiembre y diciembre de 2022, respectivamente. En Aa2, se registran hasta 0.7580 mg/L en diciembre de 2022. Aunque estos valores son inferiores al ECA de 2 mg/L para riego, el patrón de incremento aguas abajo es evidente y sugiere una influencia directa de las actividades mineras.

Así también, como se aprecia en la Tabla 31, las estaciones AA1 y AA2 (aguas arriba) exhiben promedios muy bajos (0.015 mg/L y 0.036 mg/L, respectivamente), con valores que se mantienen muy por debajo del ECA de 2.000 mg/L para riego de vegetales y 24.000 mg/L para bebida de animales. Sin embargo, en las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2), los promedios aumentan a 0.387 mg/L y 0.358 mg/L, respectivamente. El rango de concentraciones en Aa1 (0.0940 mg/L a 0.6650 mg/L) y Aa2 (0.1120 mg/L a 0.7580 mg/L) es significativamente más alto que aguas arriba. Es importante destacar que, a pesar del aumento, todas las mediciones de zinc en Oscocachi se mantienen por debajo del ECA de 2.000 mg/L, a diferencia de otros metales. No obstante, la alta variabilidad en Aa1 (61.411%) y Aa2 (63.604%) indica que las concentraciones no son uniformes y pueden presentar picos relevantes en momentos específicos.

Aunque las concentraciones de zinc en el Río Oscocachi, incluso en las estaciones aguas abajo, se mantienen por debajo del ECA de 2 mg/L, el patrón de incremento es un claro indicio de la influencia de la minería artesanal. El marco teórico (ANA, 2018) nos explica que el zinc, a pesar de ser común en la litosfera, tiene baja solubilidad en sistemas hídricos naturales, pero su concentración aumenta cuando el medio acuático experimenta un descenso en su pH, volviéndose ácido, un proceso característico de las zonas mineras impactadas. Esto es fundamental para entender por qué el zinc, junto con otros metales, se moviliza aguas abajo. Mantari y Pinchi (2021) en Parcoy, reportaron que el zinc se encontraba por debajo del ECA en las aguas superficiales (0.096 mg/L.) llegando estos a ser menores que los reportados en marzo del 2021 para las estaciones aguas abajo en Oscocachi. En contraste, Karikari et al. (2022) en Ghana encontraron valores de zinc más bajos (promedio 0.038 mg/L) y dentro de los límites aceptables, aunque también era un contaminante correlacionado con fuentes antropogénicas. Por otro lado, Chirinos (2022), en el Río San Juan, donde el zinc también superaba el ECA en puntos de calidad "Muy Pobre," refuerza la idea de que la minería artesanal actúa como un vector de contaminación, liberando y movilizándolo este metal en el ambiente fluvial, aunque su impacto en Oscocachi no haya alcanzado los niveles de transgresión de ECA que vemos en otros estudios.

4.3. Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) del Río Oscocachi

4.3.1. Cálculo de los Factores F1, F2, F3:

Tabla 32. Factores (F1, F2, F3) y valores finales del ICA-PE para la estación AA1 (aguas arriba del Río Oscocachi) según D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3.

Repetición	Parámetros en incumplimiento del ECA	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	ICA-PE Final	Clasificación
marzo 2021	Ninguno	0	0	0	100	Excelente
junio 2021	Ninguno	0	0	0	100	Excelente
setiembre 2021	Ninguno	0	0	0	100	Excelente
noviembre 2021	Ninguno	0	0	0	100	Excelente
AA1 febrero 2022	Ninguno	0	0	0	100	Excelente
junio 2022	pH (6.36 < 6.5)	7.69	7.69	2.15	93.6	Excelente
setiembre 2022	Ninguno	0	0	0	100	Excelente
diciembre 2022	Ninguno	0	0	0	100	Excelente

De acuerdo a la Tabla 32, para la estación AA1, situada aguas arriba del Río Oscocachi y previo a la influencia minera, los resultados del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) mostraron una constante clasificación de "Excelente" a lo largo de casi todo el periodo de monitoreo (marzo 2021 a diciembre 2022). La mayoría de los meses registraron un ICA-PE de 100%, indicando que todos los parámetros evaluados cumplieron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Solo en junio de 2022, el pH (6.36) estuvo marginalmente por debajo del límite inferior (6.5), resultando en un ICA-PE de 93.6%, que aún se clasifica como "Excelente", con factores F1 y F2 de 7.69% y F3 de 2.15%.

Los resultados de la estación AA1, con su calificación casi unánime de "Excelente" en el ICA-PE, representan una línea base fundamental para el estudio, confirmando un estado de calidad hídrica muy cercano a las condiciones naturales y deseables del río Oscocachi antes de la influencia minera. La calidad óptima del agua, definida por sus atributos físico-químicos y biológicos (OMS, 2018), se cumple en este caso. El ligero incumplimiento del pH en junio de 2022 (6.36 vs. ECA 6.5) es marginal y no afecta la clasificación general de "Excelente", lo que sugiere que las condiciones ácidas aún no son predominantes, a diferencia de lo que ocurre en zonas con influencia

minera. Esta estación representa un punto de referencia clave de la condición natural del río, permitiendo contrastar el impacto aguas abajo, tal como propone la evaluación de la calidad hídrica (ANA, 2018; Reátegui, 2017). Asimismo, se puede afirmar que la coherencia de estos resultados con un estado saludable del ecosistema hídrico es incuestionable.

Tabla 33. Factores (F1, F2, F3) y valores finales del ICA-PE para la estación AA2 (aguas arriba del Río Oscocachi) según D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3.

Repetición	Parámetros en incumplimiento del ECA	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	ICA-PE Final	Clasificación
marzo 2021	Mercurio (0.0011 > 0.001)	7.69	7.69	9.09	91.82	Excelente
junio 2021	Ninguno	0	0	0	100	Excelente
setiembre 2021	Ninguno	0	0	0	100	Excelente
noviembre 2021	Ninguno	0	0	0	100	Excelente
AA2 febrero 2022	Ninguno	0	0	0	100	Excelente
junio 2022	Ninguno	0	0	0	100	Excelente
setiembre 2022	Ninguno	0	0	0	100	Excelente
diciembre 2022	Ninguno	0	0	0	100	Excelente

En la estación AA2, también ubicada aguas arriba, la calidad del agua fue mayoritariamente "Excelente" con un ICA-PE de 100% en la mayoría de las mediciones de marzo de 2021 a diciembre de 2022 (Tabla 33). Sin embargo, se registró una excepción en marzo de 2021, donde la concentración de mercurio (0.0011 mg/L) superó el valor permitido por el ECA-Agua (0.001 mg/L). Este incumplimiento generó factores F1 y F2 de 7.69% y un F3 de 9.09%, resultando en un ICA-PE de 91.82%, que, aunque ligeramente menor, mantuvo la clasificación de "Excelente" según los criterios del ICA-PE.

La estación AA2 mantiene la clasificación de "Excelente" para la mayoría de los periodos, reafirmando la buena calidad del agua en las secciones aguas arriba del río Oscocachi, lo cual es vital para comprender el impacto de las actividades mineras aguas abajo. El hallazgo de Mercurio excediendo ligeramente el ECA (0.0011 mg/L vs. 0.001 mg/L) en marzo de 2021, aunque la clasificación general se mantuvo "Excelente", es un punto de alerta significativo. El marco teórico (Lenntech, 2019; ANA, 2018) explica que el mercurio, a pesar de su origen natural, es liberado al ambiente por actividades humanas, destacando la minería artesanal. Castro (2021) en el río Huaypetuhe (Madre de Dios) reportaron concentraciones de 0.0007 mg/L de mercurio, superando

el ECA peruano (0.0001 mg/L), incluso en zonas que inicialmente podrían considerarse menos impactadas. De manera similar, Loza y Ccancapa (2020) en el arroyo Lunar de Oro (Puno) también encontraron niveles de mercurio en agua (hasta 0.00043 mg/L) que excedían el límite peruano. Esta presencia temprana, aunque esporádica y no tan severa como en zonas mineras directas, sugiere que los contaminantes metálicos pueden tener fuentes difusas o geogénicas, o incluso una movilización incipiente, que el ICA-PE logra capturar, ofreciendo una visión temprana de la vulnerabilidad del ecosistema hídrico.

Tabla 34. Factores (F1, F2, F3) y valores finales del ICA-PE para la estación Aa1 (aguas abajo del Río Oscocachi) según D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3.

Repetición	Parámetros en incumplimiento del ECA	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	ICA-PE Final	Clasificación
marzo 2021	Hierro (5.592 > 5)	7.69	7.69	10.59	91.24	Excelente
junio 2021	pH (3.61 < 6.5), Aluminio (7.439 > 5), Hierro (20.246 > 5)	23.08	23.08	81.26	49.44	Regular
setiembre 2021	pH (3.01 < 6.5), Mercurio (0.0014 > 0.001), Aluminio (9.266 > 5), Cadmio (0.011 > 0.01), Hierro (22.946 > 5)	38.46	38.46	85.92	41.29	Malo
noviembre 2021	pH (4.38 < 6.5), Aluminio (5.946 > 5), Arsénico (0.102 > 0.1), Hierro (17.989 > 5)	30.77	30.77	76.69	49.09	Regular
Aa1 febrero 2022	pH (6.08 < 6.5), Aluminio (8.075 > 5), Hierro (25.738 > 5)	23.08	23.08	82.85	48.59	Regular
junio 2022	pH (3.30 < 6.5), Aluminio (27.529 > 5), Arsénico (0.315 > 0.1), Hierro (111.859 > 5)	30.77	30.77	96.67	38.79	Malo
setiembre 2022	pH (5.20 < 6.5), Mercurio (0.0020 > 0.001), Aluminio (26.766 > 5), Arsénico (0.220 > 0.1), Hierro (135.569 > 5), Plomo (0.068 > 0.05)	46.15	46.15	97.08	32.46	Malo
diciembre 2022	pH (3.00 < 6.5), DBO (34 > 15), Aluminio (20.635 > 5), Arsénico (0.866 > 0.1), Hierro (86.627 > 5), Plomo (0.081 > 0.05)	46.15	46.15	96.79	32.6	Malo

Tal como se puede apreciar en la Tabla 34, la estación Aa1, situada aguas abajo, exhibió un marcado deterioro de la calidad del agua. Si bien marzo de 2021 fue "Excelente" por un leve excedente de hierro, los meses siguientes mostraron una degradación considerable. Junio y noviembre de 2021 fueron clasificados como "Regular" (ICA-PE de 49.44% y 49.09%) debido a bajo pH y altas concentraciones de Aluminio y Hierro. De setiembre de 2021 a diciembre de 2022 (excepto noviembre), la calidad fue "Malo" (ICA-PE entre 32.46% y 41.29%), con múltiples excedencias críticas, incluyendo pH muy bajo, Mercurio, Aluminio, Arsénico, Hierro y Plomo, lo que indica una contaminación significativa.

Este marcado deterioro de la calidad del agua en la estación Aa1, con predominio de calificaciones "Regular" y "Malo" tras un inicial "Excelente", es una evidencia contundente de la influencia negativa de la minería artesanal aguas abajo. La constante acidificación del pH (e.g., 3.01 en setiembre de 2021, 3.00 en diciembre de 2022), muy por debajo del límite inferior de 6.5 del ECA (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), concuerda con el marco teórico que establece cómo el pH ácido facilita la solubilización y movilización de metales (Lenntech, 2019; U.S. Environmental Protection Agency, 2025). Esta situación es similar a la encontrada por Loza y Ccancapa (2020) en el arroyo Lunar de Oro (Puno), donde se reportó un pH promedio de 3.44 ± 0.12 , clasificando las aguas como extremadamente ácidas. Las altas concentraciones de Hierro (hasta 135.569 mg/L en setiembre de 2022) y Aluminio (hasta 27.529 mg/L en junio de 2022) superan drásticamente el ECA de 5 mg/L. Este patrón de metales elevados bajo condiciones ácidas es reportado por Ngounouno et al. (2022) en el río Lom (Camerún), donde el hierro (1.7 mg/L en promedio) excedía los límites, y por Karikari et al. (2022) en Ghana, con promedios de Fe de 7.28 mg/L.

Por otro lado, los incumplimientos de Arsénico (hasta 0.866 mg/L en diciembre de 2022) y Plomo (hasta 0.081 mg/L en diciembre de 2022) también superan los ECA (0.1 mg/L y 0.05 mg/L respectivamente), lo que se alinea con la liberación de metales pesados por lixiviación y amalgamación en la minería (Marín y Vélez, 2018). El dato de DBO (34 mg/L en diciembre de 2022) que supera el ECA (15 mg/L) indica una significativa carga orgánica, un claro indicador de contaminación como señala Bueno (2021). Estos resultados confirman que la minería artesanal utiliza el río como un vector principal de contaminación, degradando su composición química y ecológica a niveles críticos, en consonancia con la preocupación global de la ONU (2018) sobre esta actividad.

Tabla 35. Factores (F1, F2, F3) y valores finales del ICA-PE para la estación Aa2 (aguas abajo del Río Oscocachi) según D.S. N°004-2017 MINAM Categoría 3.

Repetición	Parámetros en incumplimiento del ECA	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	ICA-PE Final	Clasificación
marzo 2021	Hierro (6.480 > 5)	7.69	7.69	22.84	85.4	Buena
junio 2021	pH (3.46 < 6.5), Aluminio (5.298 > 5), Hierro (12.459 > 5)	23.08	23.08	70.85	54.96	Regular
setiembre 2021	pH (3.20 < 6.5), Aluminio (7.526 > 5), Hierro (16.232 > 5)	23.08	23.08	79.09	50.6	Regular
noviembre 2021	pH (4.37 < 6.5), Aluminio (9.646 > 5), Arsénico (0.181 > 0.1), Hierro (29.812 > 5)	30.77	30.77	87.79	43.43	Malo

febrero 2022	pH (4.61 < 6.5), Aluminio (9.659 > 5), Hierro (29.468 > 5)	23.08	23.08	86.18	46.79	Regular
junio 2022	pH (3.24 < 6.5), Aluminio (9.509 > 5), Hierro (21.986 > 5)	23.08	23.08	84.14	47.9	Regular
setiembre 2022	pH (4.45 < 6.5), Mercurio (0.0034 > 0.001), Aluminio (26.706 > 5), Arsénico (0.267 > 0.1), Hierro (116.102 > 5), Plomo (0.055 > 0.05)	46.15	46.15	96.9	32.55	Malo
diciembre 2022	pH (3.32 < 6.5), DBO (39 > 15), Aluminio (23.676 > 5), Arsénico (0.829 > 0.1), Hierro (118.786 > 5), Plomo (0.066 > 0.05)	46.15	46.15	97.35	32.34	Malo

En la estación Aa2, ubicada aún más abajo del tramo minero, la calidad del agua también mostró una grave afectación (Tabla 35). marzo de 2021 fue clasificado como "Buena" (ICA-PE de 85.4%) por un excedente de hierro. Sin embargo, los monitoreos de junio y septiembre de 2021, así como febrero y junio de 2022, resultaron en una clasificación "Regular" (ICA-PE entre 46.79% y 54.96%), principalmente por pH bajo, y altos valores de Aluminio y Hierro. Los meses de noviembre de 2021, septiembre de 2022 y diciembre de 2022 cayeron a "Malo" (ICA-PE entre 32.34% y 43.43%), con múltiples incumplimientos de pH, DBO, Aluminio, Arsénico, Hierro, Mercurio y Plomo, señalando una contaminación generalizada.

Los resultados de la estación Aa2, la más alejada aguas abajo, confirman la persistencia y, en algunos casos, el agravamiento de la contaminación, con el ICA-PE fluctuando entre "Buena", "Regular" y "Malo". La acidificación del pH (e.g., 3.20 en setiembre de 2021, 3.32 en diciembre de 2022), es un claro indicativo de drenaje ácido de mina, fundamental para la movilización de metales pesados, como subraya el Marco Teórico (Lenntech, 2019). Este patrón de acidez es consistente con lo reportado por Loza y Ccancapa (2020) en Puno. Las concentraciones de Hierro (hasta 118.786 mg/L en diciembre de 2022) y Aluminio (hasta 26.706 mg/L en setiembre de 2022) exceden masivamente el ECA (5 mg/L), lo cual es comparable con las altas concentraciones de Fe (7.28 mg/L en promedio) y otros metales hallados por Karikari et al. (2022) en Ghana, y por Ngounouno et al. (2022) en Camerún, atribuidas a la minería. Los valores de Arsénico (hasta 0.829 mg/L en diciembre de 2022), Mercurio (hasta 0.0034 mg/L en setiembre de 2022) y Plomo (hasta 0.066 mg/L en diciembre de 2022) también superan los ECA (0.1, 0.001 y 0.05 mg/L, respectivamente), evidenciando la contribución de los procesos de amalgamación y lixiviación (Marín y Vélez, 2018). El estudio de Castro (2021) en Huepetuhe, donde el mercurio excedió el ECA, y el de Salas-Ávila et al. (2021) en el río Suches, donde As y Cd superaron límites en sedimentos, refuerzan la gravedad de la contaminación metálica. La alta DBO (39 mg/L en diciembre de 2022, superando el ECA de 15 mg/L) indica una carga orgánica considerable, afectando la capacidad de autodepuración del río, tal como explica Bueno (2021). En suma, la

estación Aa2 encapsula la profunda degradación ambiental, corroborando que la minería artesanal compromete severamente la salud del ecosistema hídrico del río Oscocachi.

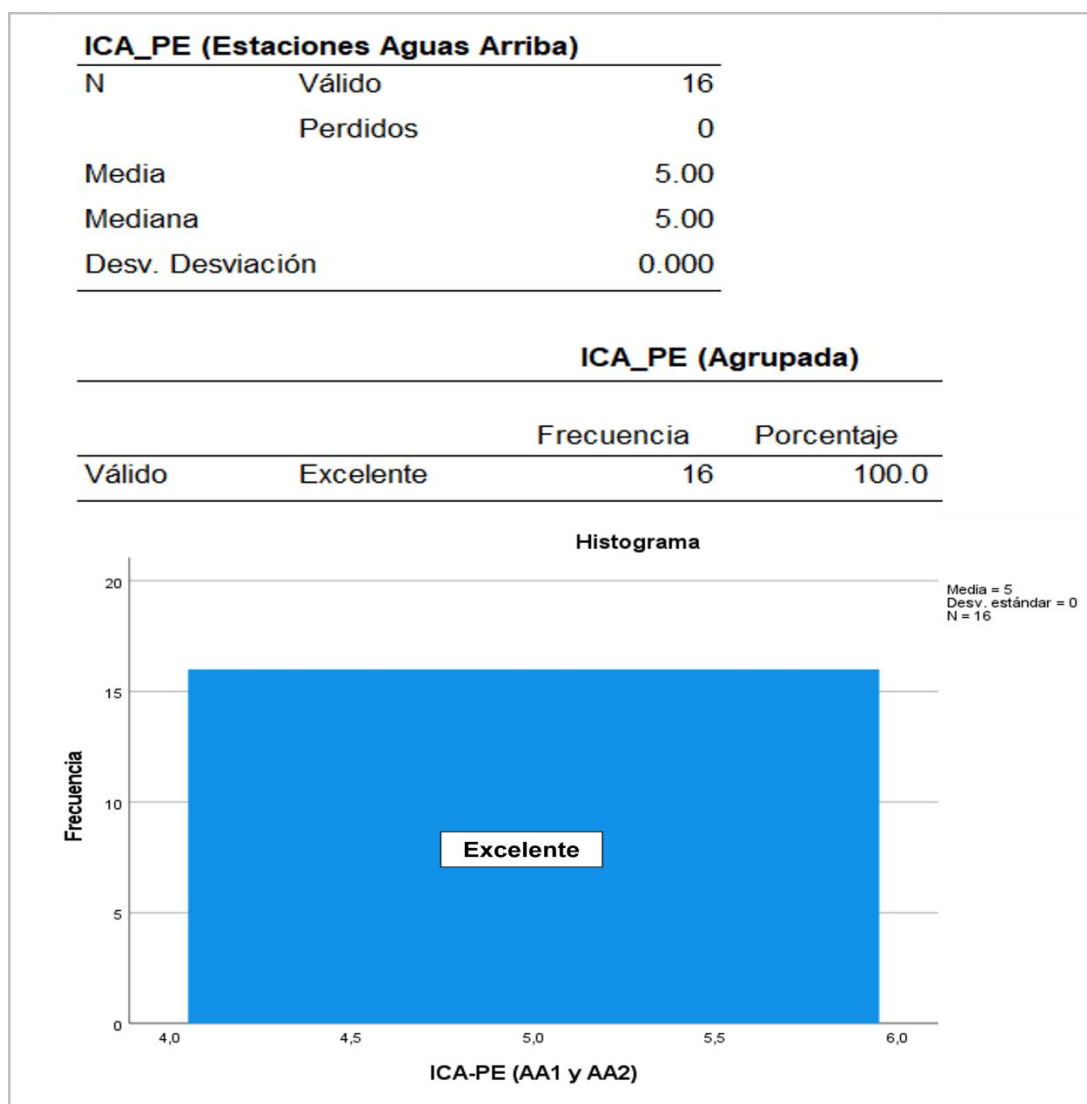


Figura 22. Histogramas y análisis de frecuencia del ICA-PE para las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) del Río Oscocachi.

La Figura 22 presenta el histograma y el análisis de frecuencia del Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) correspondientes a las estaciones de monitoreo ubicadas aguas arriba (AA1 y AA2). Los datos revelan una distribución absolutamente homogénea, donde la totalidad de las observaciones (N=16) se concentran en la categoría "Excelente", lo que representa el 100.0% de la muestra evaluada en esta sección. Los estadísticos descriptivos reflejan esta uniformidad con una media y una mediana de 5.00, acompañadas de una desviación estándar de 0.000, indicando la ausencia de dispersión en los valores del índice obtenidos durante el periodo de estudio para estas estaciones.

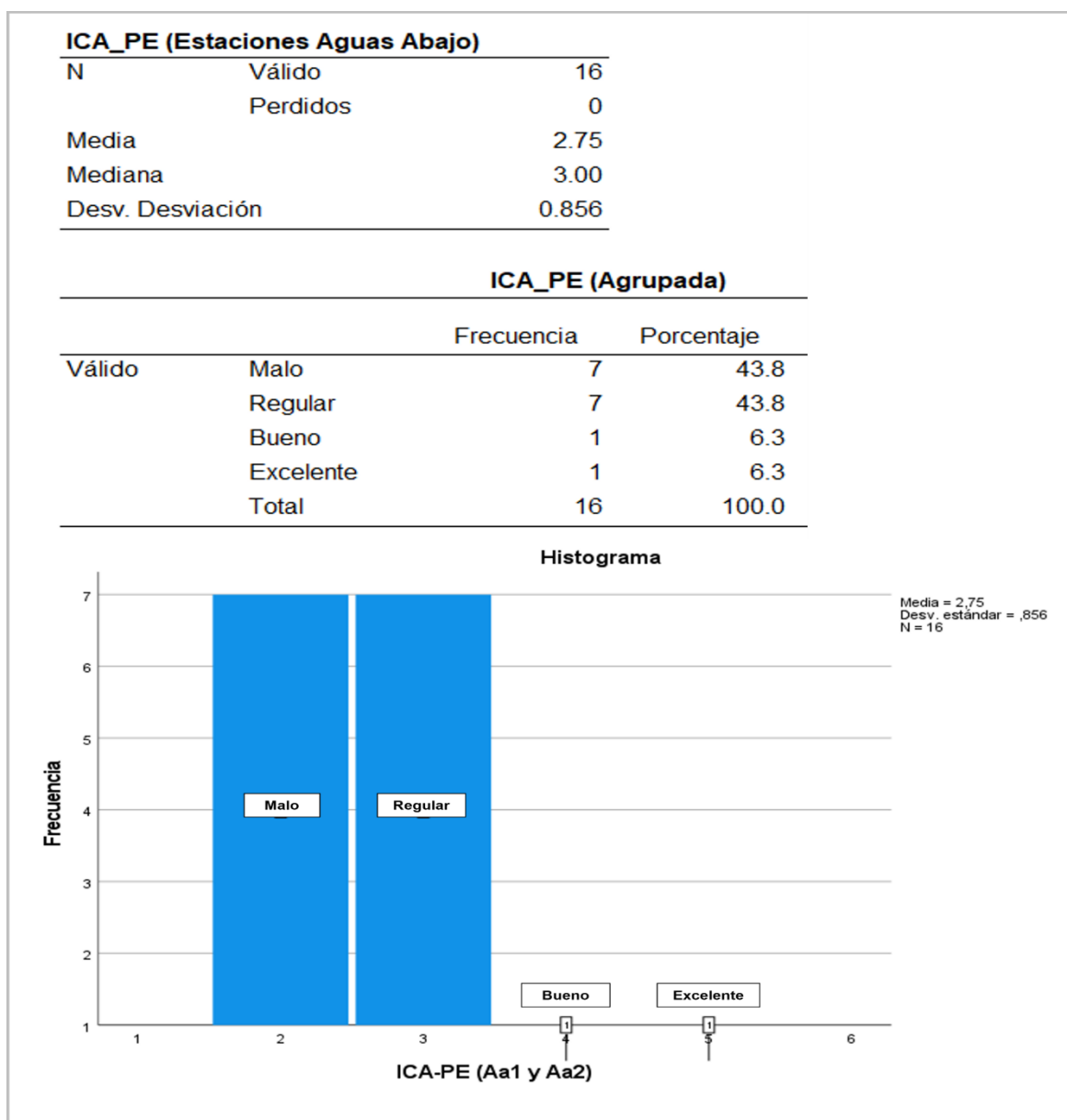


Figura 23. Histograma y análisis de frecuencia del ICA-PE para las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) del Río Oscocachi

En la Figura 23 se detallan el histograma y el análisis de frecuencia del ICA-PE para las estaciones situadas aguas abajo (Aa1 y Aa2), evidenciando una distribución heterogénea de los datos a través de las distintas categorías de clasificación. Se observa una predominancia equitativa entre las categorías "Malo" y "Regular", registrando cada una frecuencia de 7 observaciones, lo que equivale al 43.8% del total para cada caso. Por otro lado, las categorías "Bueno" y "Excelente" presentan una frecuencia mínima, con solo 1 observación (6.3%) respectivamente. Los indicadores estadísticos muestran una media de 2.75 y una mediana de 3.00, con una desviación estándar de 0.856, lo que denota una variabilidad considerable en los registros de calidad del agua en este tramo.

Los hallazgos de la Figura 22, donde el ICA-PE de las estaciones aguas arriba se clasifica uniformemente como "Excelente" (100%), mientras que aguas abajo (Figura 23) predominan las categorías "Malo" (43.8%) y "Regular" (43.8%), siendo esta última una clara señal de alarma. Esto valida directamente la conceptualización del ICA-PE como una herramienta capaz de reflejar el verdadero nivel de contaminación y sus patrones (Reátegui, 2017). La drástica caída observada en la calidad del agua aguas abajo, pasando de un estado prístino a uno "Regular" o "Malo", se triangula perfectamente con el marco teórico que identifica a la minería artesanal como la fuente principal de contaminación de los cuerpos receptores (ONU, 2018), un punto muy importante a considerar sería el grave deterioro atribuible a la intervención antropogénica (IIMP, 2025).

Asimismo, estos resultados también concuerdan con Chirinos (2022) en el río San Juan, donde se encontraron clasificaciones de ICA CCME desde "Buena" en la parte alta hasta "Pobre" y "Marginal" en tramos medios y bajos impactados por descargas mineras, reflejando un patrón de degradación espacial similar. La percepción social en Ollachea, donde el 92.8% de los pobladores considera que la calidad del río Oscocochi está afectada por la minería (Meza-Duman et al., 2022), y el 87.5% atribuye esta contaminación al consumo de agua por la minería artesanal, refuerza que la comunidad percibe esta transición de "Excelente" a "Malo" o "Regular" de forma muy concreta.

La marcada heterogeneidad en los valores del ICA-PE aguas abajo, evidenciada por la desviación estándar de 0.856, no solo confirma el impacto, sino que sugiere una influencia de fuentes de contaminación no constantes. Esta variabilidad, con valores que fluctúan entre "Excelente" y "Malo", podría estar asociada a descargas intermitentes de relaves o al arrastre periódico de sedimentos contaminados por escorrentía, un fenómeno común en áreas de minería artesanal con escasos controles de ingeniería (Chirinos, 2022). Dicha inconsistencia en la calidad del agua representa un desafío mayor para la gestión del recurso, ya que implica que la biota acuática y los potenciales usuarios se enfrentan a condiciones inestables y potencialmente tóxicas de forma recurrente, imposibilitando la adaptación y aumentando el riesgo ecotoxicológico.

Adicionalmente, este comportamiento dinámico y errático complica significativamente el diseño de sistemas de tratamiento efectivos, dado que las ingenierías convencionales requieren parámetros de afluencia estables para operar óptimamente. En consecuencia, un monitoreo puntual tradicional podría subestimar la verdadera severidad de la carga contaminante durante los eventos pico de descarga. Por tanto, resulta imperativo establecer protocolos de vigilancia con mayor resolución temporal que logren capturar estas fluctuaciones abruptas, asegurando que las estrategias de mitigación sean lo suficientemente robustas para neutralizar los escenarios más críticos.

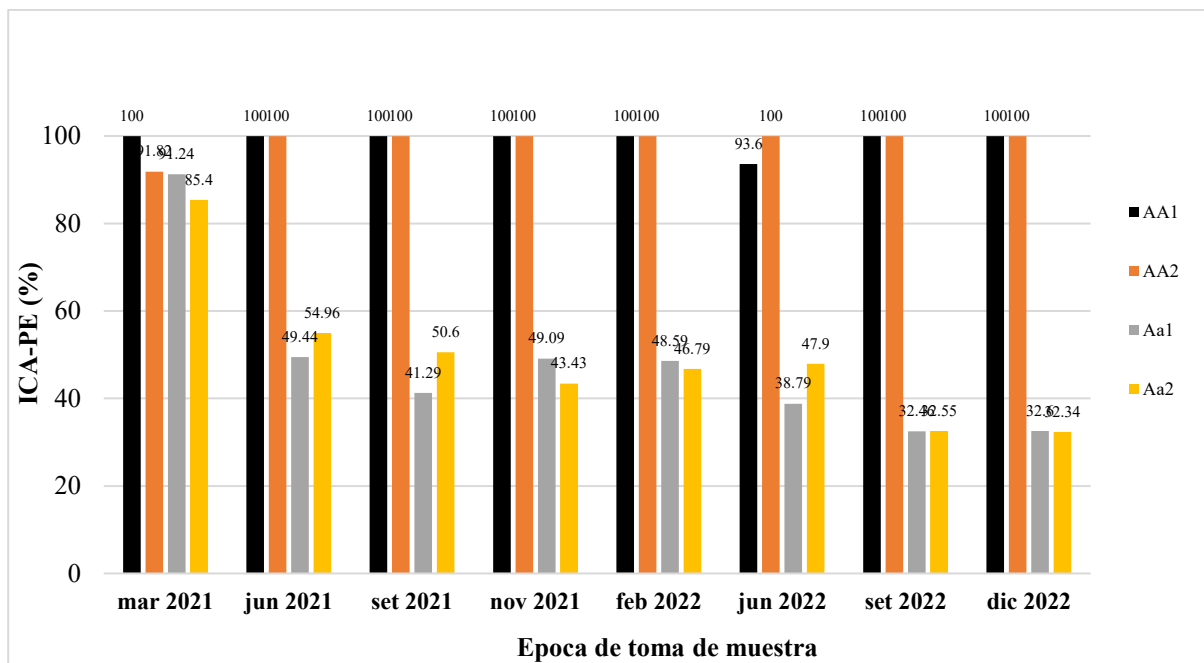


Figura 24. Variación temporal de los valores del ICA-PE por estación de monitoreo en el Río Oscocachi (2021-2022)

La figura 24 ilustra una marcada diferencia temporal en el ICA-PE entre las estaciones. Las estaciones aguas arriba (AA1 y AA2) mantuvieron consistentemente valores de ICA-PE clasificados como "Excelente" (generalmente 100%, con pequeñas variaciones por encima del 90%). En contraste, las estaciones aguas abajo (Aa1 y Aa2) exhibieron fluctuaciones significativas y una tendencia general a la baja. Aa1 osciló desde "Excelente" a "Malo" (32.6% en diciembre 2022), y Aa2 varió de "Buena" a "Malo" (32.34% en diciembre 2022), predominando las clasificaciones de "Regular" y "Malo" en la mayoría de los meses, especialmente a partir de junio de 2021. Esta divergencia sugiere la influencia de fuentes de contaminación puntuales o difusas entre los puntos de muestreo. Los valores excelentes aguas arriba indican una buena calidad inicial del recurso, que se ve comprometida progresivamente corriente abajo. Las fluctuaciones en las estaciones inferiores pueden estar vinculadas a descargas periódicas, variaciones en el caudal o aportes de afluentes menores. La estabilidad en las estaciones superiores refuerza la hipótesis de un impacto acumulativo a lo largo del cauce, donde los contaminantes no se diluyen o degradan suficientemente.

La variación temporal del ICA-PE en la Figura 24 corrobora que la minería artesanal ejerce una influencia directa y negativa en la calidad del río Oscocachi, con las estaciones aguas arriba manteniendo una calidad "Excelente" (valores cercanos a 100), mientras que aguas abajo se observan fluctuaciones significativas en las categorías "Malo" y "Regular". Esta tendencia de

deterioro ambiental progresivo y sostenido (IIMP, 2025) a lo largo del tiempo en las zonas impactadas se alinea con la función del ICA-PE de discernir tendencias evolutivas a lo largo del tiempo (ANA, 2018). Por ejemplo, la caída del pH a niveles ácidos reportada por Meza-Duman et al. (2022) en puntos aguas abajo del mismo río Oscocachi, o los hallazgos de Loza y Ccancapa (2020) en La Rinconada, que encontraron un muy alto potencial de riesgo ecológico e Índice de geoacumulación extremadamente contaminado por mercurio, se traducirían en valores de ICA-PE bajos y fluctuantes, similares a los observados en Aa1 y Aa2. Aunque el estudio de Chirinos (2022) también evidenció tendencias de mejora o deterioro en sus periodos de evaluación, la persistencia de clasificaciones "Malo" y "Regular" en la presente investigación subraya un impacto continuo y dinámico, no estático, que el marco teórico atribuye a la minería artesanal como un vector clave para la movilización y el transporte de los contaminantes, afectando la idoneidad del agua para sus usos específicos.

4.4. Análisis inferencial

Tabla 36. Resultados de la prueba de Mann-Whitney U para comparación de parámetros fisicoquímicos y metálicos entre estaciones aguas arriba y aguas abajo del Río Oscocachi, 2021-2022.

	pH	Temperatura	Conductividad eléctrica	Oxígeno disuelto	DBO	DQO	Sulfatos	Cloruro	Mercurio
U de Mann-Whitney	7.500	51.000	3.500	106.500	45.000	50.000	11.000	33.000	47.500
W de Wilcoxon	143.500	187.000	139.500	242.500	181.000	186.000	147.000	169.000	183.500
Z	-4.542	-2.904	-4.693	-0.811	-3.223	-2.991	-4.412	-3.611	-3.176
Sig. asin. (bilateral)	0.000	0.004	0.000	0.418	0.001	0.003	0.000	0.000	0.001
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,000 ^b	,003 ^b	,000 ^b	,423 ^b	,001 ^b	,003 ^b	,000 ^b	,000 ^b	,002 ^b

a. Variable de agrupación: Ubicación

b. No corregido para empates.

La prueba de Mann-Whitney U para los parámetros fisicoquímicos y mercurio (Tabla 36) reveló diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre las estaciones aguas arriba y aguas abajo para la mayoría de los indicadores. Se encontraron diferencias significativas para el pH ($p=0.000$), la temperatura ($p=0.004$), la conductividad eléctrica ($p=0.000$), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) ($p=0.001$), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) ($p=0.003$), los sulfatos ($p=0.000$), los cloruros ($p=0.000$) y el mercurio ($p=0.001$). Solo el oxígeno disuelto no mostró una diferencia estadísticamente significativa ($p=0.418$) entre ambas secciones del río.

La prueba de Mann-Whitney U en la Tabla 36 revela diferencias significativas ($p < 0.05$) en pH, temperatura, conductividad eléctrica, DBO, DQO, sulfatos, cloruros y mercurio entre las secciones aguas arriba y abajo del río Oscocachi, señalando un impacto claro de la minería artesanal. La marcada acidificación ($p=0.000$) favorece la movilización de metales (Lenntech, 2019), un patrón visto en estudios de Puno con pH ácido (Loza y Ccancapa, 2020) o en Cajamarca con pH ácido (Garay y Núñez, 2020). El aumento de la conductividad eléctrica ($p=0.000$) indica una mayor mineralización, un hallazgo consistente con datos de ríos mineros en Ghana que exceden los $125 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Karikari et al., 2022). Las elevadas DBO y DQO ($p=0.001$, $p=0.003$) sugieren una carga orgánica significativa, similar a la "calidad Pobre" identificada por Chirinos (2022). Los sulfatos y cloruros ($p=0.000$) reflejan la disolución de minerales por la actividad minera (Chacón, 2016). El mercurio ($p=0.001$) también mostró una diferencia, alineándose con reportes de Hg excediendo el ECA en Huepetuhe (Castro, 2021). Curiosamente, el oxígeno disuelto no presentó diferencias significativas ($p=0.418$), lo que contrasta con la hipoxia hallada en otros estudios (Jiménez, 2020). Estos resultados en conjunto demuestran una alteración hidroquímica sustancial del río Oscocachi atribuible a la minería.

Tabla 37. Continuación de los resultados de la prueba de Mann-Whitney U para parámetros metálicos y el ICA-PE.

	Aluminio	Arsénico	Cadmio	Cobalto	Cobre	Hierro	Plomo	Zinc	ICA_PE
U de Mann-Whitney	0.000	0.000	97.000	16.000	3.000	0.000	72.000	2.000	0.000
W de Wilcoxon	136.000	136.000	233.000	152.000	139.000	136.000	208.000	138.000	136.000
Z	-4.924	-4.927	-1.293	-4.655	-4.810	-4.825	-2.917	-4.754	-5.039
Sig. asin. (bilateral)	0.000	0.000	0.196	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,000 ^b	,000 ^b	,254 ^b	,000 ^b	,000 ^b	,000 ^b	,035 ^b	,000 ^b	,000 ^b

a. Variable de agrupación: Ubicación

b. No corregido para empates.

Los resultados de la Tabla 37 revelan diferencias significativas ($p < 0.05$) para la mayoría de los metales, y lo más importante, una diferencia altamente significativa para el Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) ($p=0.000$) entre las estaciones aguas arriba y aguas abajo. Esto es una prueba contundente del impacto minero en el río Oscocachi. Asimismo, y específicamente, el aluminio ($p=0.000$), arsénico ($p=0.000$), cobalto ($p=0.000$), cobre ($p=0.000$), hierro ($p=0.004$), plomo

($p=0.000$) y zinc ($p=0.000$) mostraron diferencias significativas. El cadmio fue el único parámetro que no presentó una diferencia estadísticamente significativa ($p=0.196$) entre las secciones analizadas. La marcada variación en el ICA-PE confirma un deterioro general de las condiciones hídricas tras el punto de influencia minera. Estos hallazgos son consistentes con la hipótesis de que los efluentes consecuentes de la actividad minera artesanal alteran la química del agua. La magnitud de los valores- p para metales como el arsénico y el plomo, altamente tóxicos, subraya una preocupación ambiental grave. La consistencia espacial de los datos, con aguas arriba mostrando concentraciones notablemente menores, refuerza la causalidad atribuida a la actividad extractiva. El comportamiento atípico del cadmio, cuyos niveles se mantuvieron relativamente uniformes, podría deberse a factores geoquímicos locales o a una menor movilización desde la fuente. La evidencia estadística obtenida permite descartar que estas discrepancias sean producto de la variabilidad natural del sistema fluvial.

La movilización de aluminio y hierro ($p=0.000$) se debe al drenaje ácido de mina (ANA, 2018), un fenómeno que incrementa la solubilidad de estos metales (Lenntech, 2019). Las altas concentraciones de arsénico y plomo ($p=0.000$ y $p=0.004$) superan los límites del ECA, similar a lo observado en Parcoy con valores de As (0.670 mg/L) y Pb (0.380 mg/L) muy por encima de los límites (Mantari y Pinchi, 2021) y también en Hualgayoc (Vásquez, 2024). Cobre y zinc ($p=0.000$) también son indicadores de descarga minera (ANA, 2018), como en Ghana (Karikari et al., 2022). La drástica caída del ICA-PE ($p=0.000$) a niveles "Regular" o "Malo" refleja una degradación general, consistente con la "calidad Pobre" por metales del río San Juan (Chirinos, 2022) o el agua "no apta para consumo" del río Lom (Ngounouno et al., 2022). La falta de diferencia significativa para cadmio ($p=0.196$) es un punto a notar, quizás por su menor abundancia o su comportamiento químico en este ecosistema particular, aunque en otros contextos, como el río Suches, el cadmio en sedimentos sí superó límites (Salas-Ávila et al., 2021). Estos hallazgos confirman que la actividad minera altera drásticamente la composición metálica y la calidad ecológica del río.

Estos hallazgos, en su conjunto, pintan un cuadro hidroquímico alarmante que trasciende la mera significancia estadística y se materializa en un ecosistema fluvial profundamente alterado. La sinergia entre la acidificación, la elevada mineralización y la carga orgánica y metálica genera un cóctel tóxico cuyas implicancias ecológicas y sanitarias son profundas. La drástica depreciación del ICA-PE ($p=0.000$) a categorías que denotan un estado "Regular" a "Malo" no es solo un indicador numérico, sino un reflejo de la pérdida de servicios ecosistémicos y de la potencial afectación a las comunidades locales que dependen del río Oscocachi. La resiliencia mostrada por el oxígeno disuelto, un parámetro vital, resulta paradójica y frágil ante la presión continua de los

contaminantes; su estabilidad podría ser transitoria, encubriendo un proceso de degradación más insidioso que compromete la estabilidad a largo plazo del ecosistema acuático. La excepción del cadmio, cuya concentración se mantuvo homogénea, sugiere que la fuente de contaminación o los procesos geoquímicos locales tienen una firma específica, lo que no mitiga, sin embargo, la grave afectación general.

Esta investigación corrobora que la minería artesanal no solo modifica parámetros aislados, sino que reconfigura la identidad hidrológica y ecológica del río, imponiendo un alto costo ambiental que demanda con urgencia estrategias de remediación y una gestión hídrica más sostenible e integral. Finalmente, la confirmación estadística de que el ICA-PE es significativamente diferente entre ambas secciones refuerza la conclusión de que la minería artesanal tiene un impacto global y notorio sobre la calidad integral del río Oscocachi.

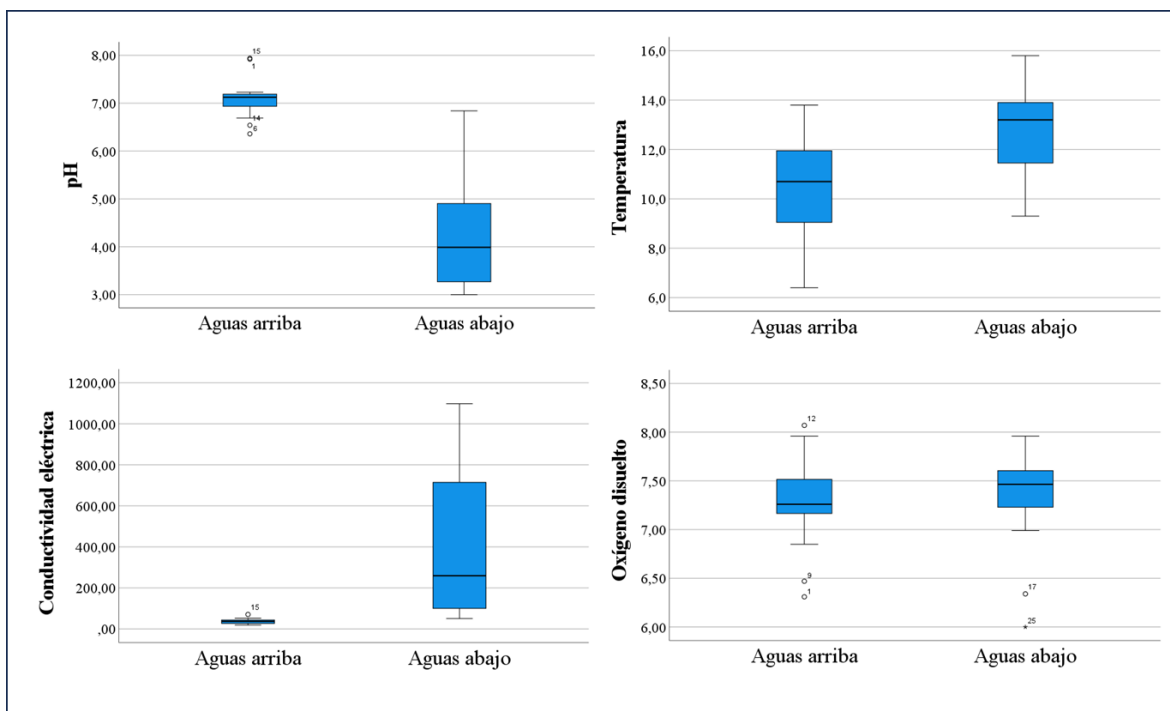


Figura 25. Diagramas de caja comparativo de pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto entre estaciones aguas arriba y aguas abajo.

Los diagramas de caja comparativos para los parámetros fisicoquímicos (Figura 25) muestran una clara distinción entre las estaciones aguas arriba y aguas abajo. El pH en las estaciones aguas arriba presenta valores en un rango neutro, con una dispersión limitada, mientras que aguas abajo, los valores de pH disminuyen drásticamente, indicando condiciones ácidas y una mayor variabilidad. La conductividad eléctrica, en contraste, exhibe valores considerablemente más altos y una dispersión mucho mayor en las estaciones aguas abajo, lo que sugiere una mayor

concentración de sólidos disueltos. La temperatura y el oxígeno disuelto muestran rangos y medianas similares en ambas secciones, sin una diferencia tan marcada como el pH y la conductividad.

Los resultados de la Figura 25 confirman la dramática alteración de las condiciones fisicoquímicas del río Oscocachi. La caída del pH de un rango neutral (7.0-7.5) aguas arriba a un rango ácido (3.5-4.5) aguas abajo es un claro indicio de drenaje ácido de mina, un fenómeno que, como señala la teoría, facilita la solubilidad y movilización de metales (Lenntech, 2019; U.S. EPA, 2025). Esta acidez es más severa que la ligera acidez (6.4 y 5.9 en P3 y P4) reportada por Meza-Duman et al. (2022) en el mismo río Oscocachi y se asemeja más a los valores extremadamente ácidos (pH 3.44) encontrados por Loza y Ccancapa (2020) en arroyos mineros de La Rinconada, Puno, o los pH ácidos en bofedales de Jiménez (2020). La conductividad eléctrica, que mide la concentración iónica (Toruan et al., 2023), aumenta significativamente aguas abajo (medianas por encima de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) respecto a los valores bajos aguas arriba ($<100 \mu\text{S}/\text{cm}$), lo que indica una mayor mineralización.

Por otro lado, en cuanto a los parámetros de calidad no críticos, se observan matices importantes. Aunque esta CE no excede los límites más altos (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) del ECA Categoría 3 (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), supera ampliamente la media de 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$ observado en ríos afectados por minería artesanal en Ghana (Karikari et al., 2022). Esta disparidad evidencia una alteración hidroquímica latente; es decir, aunque normativa, la carga iónica disuelta producto de la lixiviación de desmontes podría estar generando un desequilibrio osmótico sutil en la biota nativa. Las temperaturas, si bien con un ligero aumento aguas abajo, permanecen dentro de los rangos esperados (9.0-14.0°C), sin evidencia de estrés térmico crítico (ACS, 2024); dicha estabilidad térmica resulta crucial para no exacerbar la toxicidad, ya que un calentamiento mayor catalizaría la cinética de disolución de los metales. Es interesante notar que el oxígeno disuelto se mantiene estable y saludable (7.0-7.5 mg/L) en ambas secciones, superando el límite mínimo de 5 mg/L para la vida acuática (López et al., 2019), lo que contrasta con la hipoxia reportada por Loza y Ccancapa (2020) en La Rinconada, sugiriendo una buena capacidad de re-aireación en esta sección del Oscocachi, atribuible principalmente a la turbulencia generada por la pendiente geomorfológica del cauce. Este factor hidrodinámico actúa como un amortiguador físico vital que, si bien mitiga la asfixia del ecosistema, no debe interpretarse erróneamente como una ausencia de contaminación, pues coexiste con la toxicidad metálica.

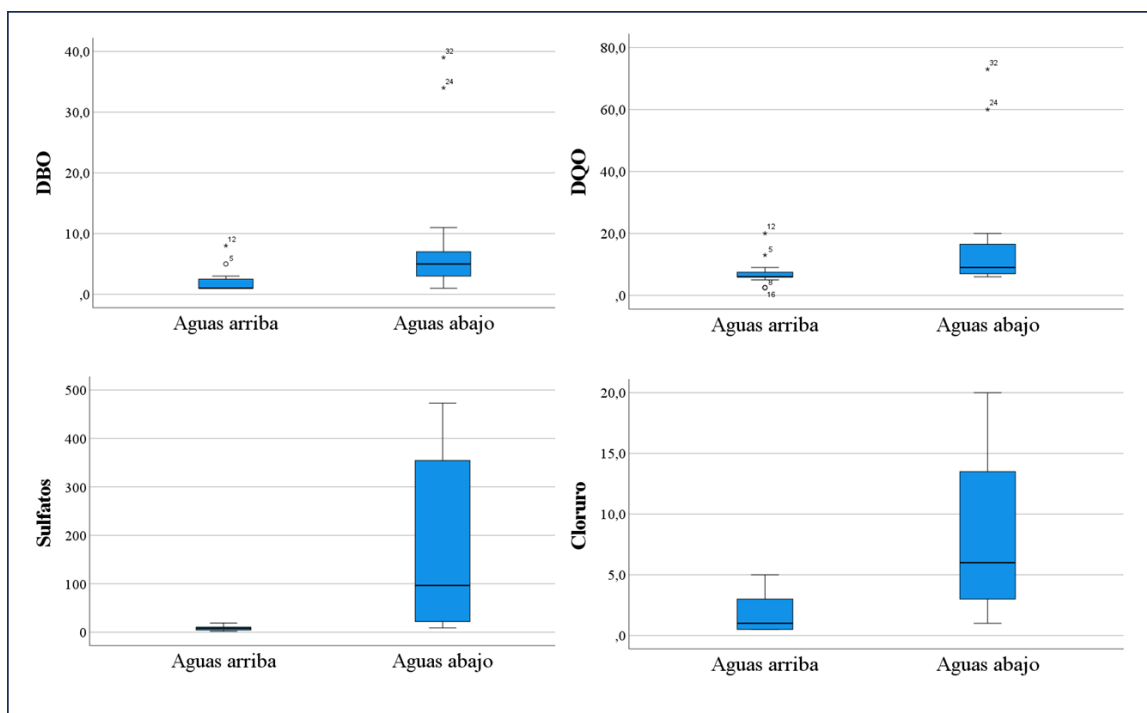


Figura 26. Diagramas de caja comparativos de DBO, DQO, sulfatos y cloruros entre estaciones aguas arriba y aguas abajo

Tal como se puede apreciar en la Figura 26, los diagramas de caja para DBO, DQO, sulfatos y cloruros muestran incrementos notorios en las estaciones aguas abajo en comparación con las aguas arriba. Para la DBO y DQO, las cajas aguas abajo se sitúan significativamente más altas, con rangos de variación más amplios, indicando una mayor carga orgánica. De manera similar, las concentraciones de sulfatos y cloruros son considerablemente más elevadas en las estaciones aguas abajo, presentando cajas más extensas y valores medianos muy superiores, lo que evidencia una acumulación de estos aniones, mientras que aguas arriba se mantienen en niveles bajos y estables.

Los diagramas de caja de la Figura 26 evidencian una marcada contaminación orgánica e inorgánica tras la influencia minera. Las concentraciones de DBO aguas abajo (medianas de 15-20 mg/L, con picos por encima de 30 mg/L) superan el límite de 15 mg/L del ECA Categoría 3 (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), mientras que aguas arriba se mantienen en valores bajos (<5 mg/L). Esto concuerda con la teoría de que una alta DBO es un indicador de carga orgánica biodegradable que consume oxígeno disuelto (Bueno, 2021; López et al., 2019). Estos niveles son significativamente superiores al promedio de 4.58 mg/L de DBO₅ en ríos mineros de Ghana (Karikari et al., 2022), e incluso a los valores que llevaron a clasificar el río San Juan en Pasco como "Pobre" por DBO₅ debido a descargas mineras (Chirinos, 2022). De forma similar, la DQO, que representa la materia orgánica total (ANA, 2018), también se eleva drásticamente aguas abajo

(medianas >20 mg/L), lo que, junto con la DBO, sugiere un impacto considerable de la minería artesanal en la calidad orgánica del agua. Los sulfatos también aumentan significativamente aguas abajo (medianas de 200-300 mg/L, picos >400 mg/L) en comparación con los valores bajos aguas arriba (<50 mg/L). Este incremento es consistente con la disolución de minerales expuestos por la minería (Chacón, 2016; Teves, 2016), siendo estas concentraciones considerablemente mayores que el promedio de 7.87 mg/L reportado en ríos ghaneses (Karikari et al., 2022). Los cloruros, aunque ligeramente aumentados aguas abajo (medianas de 10-15 mg/L), permanecen muy por debajo del límite de 500 mg/L del ECA, no considerándose un riesgo directo para la salud (Teves, 2016).

Estos hallazgos revelan una alteración significativa del equilibrio natural del río Oscocachi, evidenciando que la actividad minera no solo introduce contaminantes, sino que redefine la capacidad de autodepuración del ecosistema acuático. La magnitud del impacto, superior a lo documentado en contextos internacionales similares, subraya la vulnerabilidad de los recursos hídricos andinos y la necesidad urgente de implementar estrategias de remediación que prioricen la salud de las comunidades y los ecosistemas dependientes de este vital curso de agua.

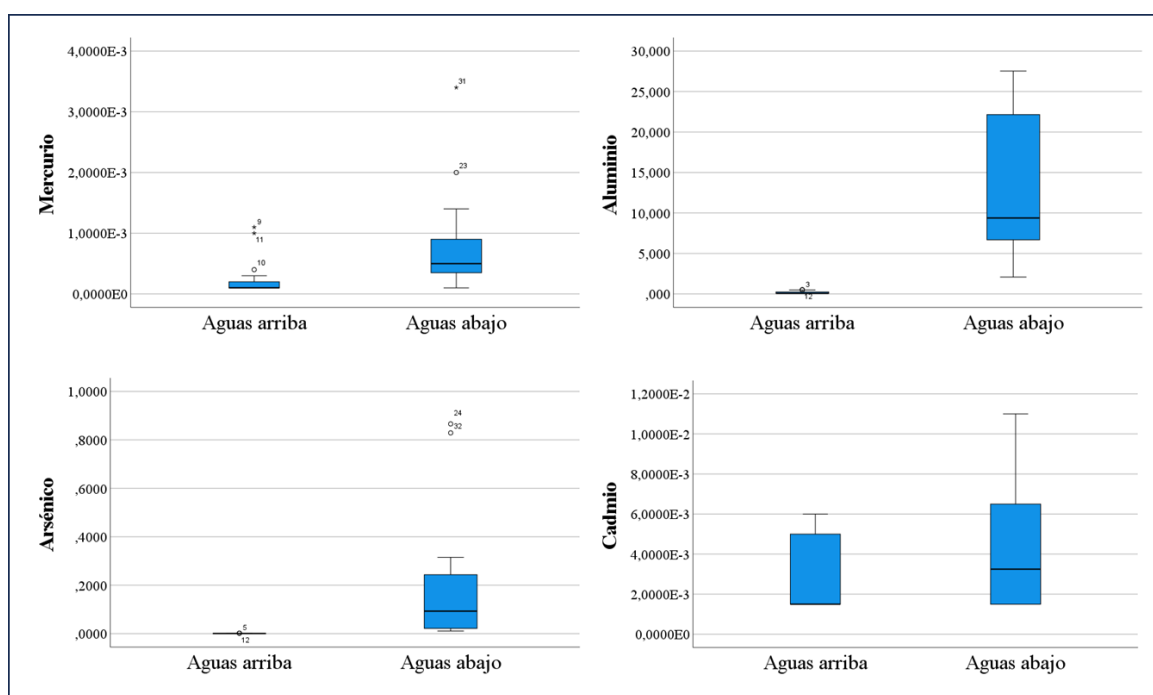


Figura 27. Diagramas de caja comparativos de concentraciones de mercurio, aluminio, arsénico y cadmio entre estaciones aguas arriba y aguas abajo.

Los diagramas de caja para mercurio, aluminio, arsénico y cadmio (Figura 27) revelan concentraciones notoriamente más elevadas en las estaciones aguas abajo respecto a las aguas

arriba. En el mercurio, aluminio y arsénico, los valores aguas abajo presentan cajas significativamente más altas y con una mayor dispersión, incluso con la presencia de valores atípicos, lo que indica una carga de contaminantes considerable y variable. Aguas arriba, las concentraciones de estos metales se mantienen en niveles mínimos y con poca variabilidad. El cadmio también muestra un ligero aumento aguas abajo, aunque menos pronunciado que los otros metales.

La Figura 27 resalta un deterioro crítico en la calidad del agua del río Oscocachi debido a la contaminación por metales pesados aguas abajo de la actividad minera. El aluminio se dispara drásticamente (medianas >10 mg/L), superando el ECA de 5 mg/L (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017). Esto se alinea con la teoría que vincula la acidez (observada en Figura 25) con la solubilización del aluminio, lo que genera toxicidad acuática (Lenntech, 2019; ANA, 2018). El arsénico también muestra un aumento considerable aguas abajo (medianas >0.1 mg/L), rebasando el ECA de 0.1 mg/L (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017). Esta concentración es significativamente mayor que el promedio de 0.00401 mg/L en el río Suches (Salas-Ávila et al., 2021) y similar a las transgresiones de 0.30323 a 0.8093 mg/L en Cajamarca (Vásquez, 2024), confirmando la influencia minera. Aunque el mercurio muestra un aumento más modesto aguas abajo, sus niveles (medianas >0) alcanzan el ECA de 0.001 mg/L (D.S. N°004-2017 MINAM, 2017), similar a los 0.0007 mg/L reportados por Castro (2021) en Huepetuhe, quien también excedió el ECA debido a la minería aurífera artesanal (EPA, 2021).

En contraste con la tendencia uniforme de otros metales, el comportamiento del cadmio presenta una particularidad que merece un análisis diferenciado. Finalmente, el cadmio, aunque en concentraciones bajas aguas abajo, muestra un incremento respecto a aguas arriba. Esto es preocupante dado que Mantari y Pinchi (2021) ya documentaron que el cadmio excedió el ECA en varios puntos del río Parcoy. Por otro lado, Salas-Ávila et al. (2021) reportaron valores muy por debajo del ECA, así como del límite de detección (BLD) para las concentraciones de cadmio en los diferentes puntos de muestreo del río suches; y, por el contrario, si llegó a un valor por encima del umbral en sedimentos (1.14 mg/kg) del río Suches superando los límites de las Guías Provisionales de Calidad de Sedimentos (ISQG), subrayando su origen antropogénico por la minería (ANA, 2018).

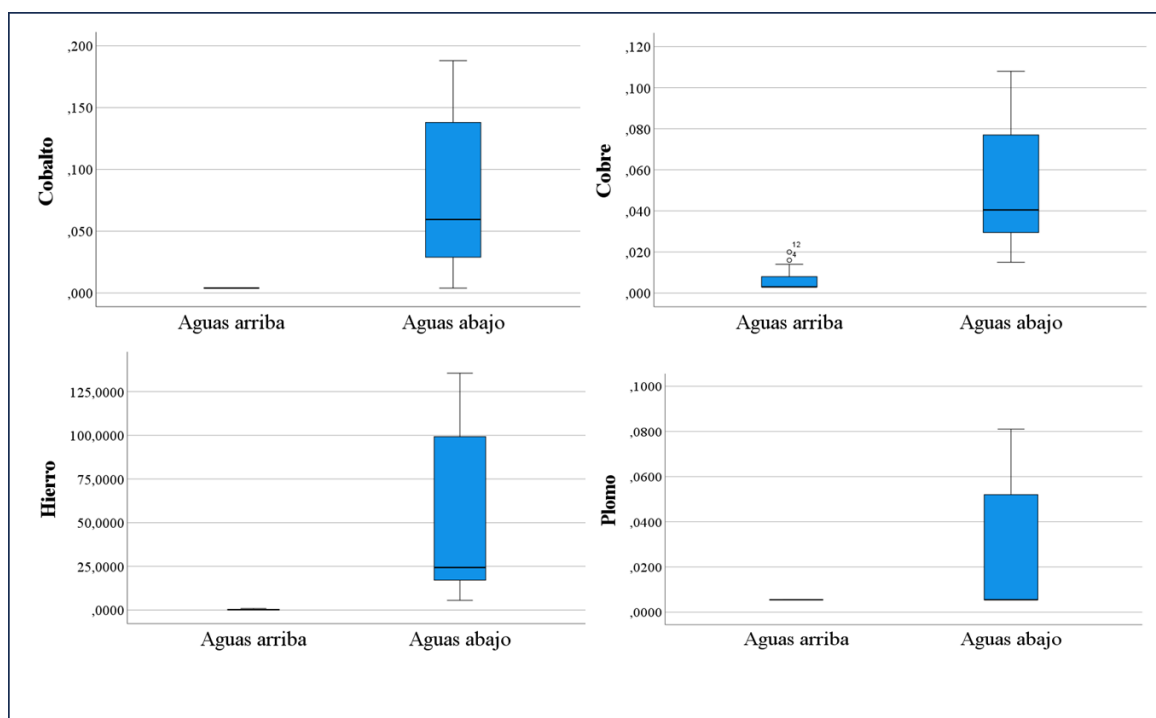


Figura 28. Diagramas de caja comparativos de concentraciones de cobalto, cobre, hierro y plomo entre estaciones aguas arriba y aguas abajo.

Como se puede observar en la Figura 28, los diagramas de cajas para cobalto, cobre, hierro y plomo ilustran un incremento considerable de sus concentraciones en las estaciones aguas abajo en comparación con las aguas arriba. Para el hierro y el plomo, las cajas aguas abajo son notablemente más elevadas y con mayor dispersión, mostrando que sus medianas y rangos intercuartílicos son muy superiores a los de las estaciones aguas arriba, donde se registran valores bajos y estables. Cobalto y cobre también siguen este patrón, con cajas más altas aguas abajo, lo que indica que sus concentraciones aumentan significativamente tras la influencia de la actividad minera.

La marcada elevación de cobalto, cobre, hierro y plomo en las estaciones aguas abajo del río Oscocachi, tal como se evidencia en la Figura 28, es un indicio preocupante que se alinea directamente con los impactos documentados de la minería artesanal. El marco teórico subraya que la presencia de metales como el hierro en aguas naturales puede atribuirse a la geología, pero sus altas concentraciones en nuestro estudio, con incrementos drásticos aguas abajo, sugieren un origen antropogénico (ANA, 2018). Esta situación concuerda con los hallazgos de Vásquez (2024) en Cajamarca, donde el hierro superó los 5 mg/L del ECA en puntos como QLeme1 y RTing1 (21.6-44.01 mg/L), y Ngounouno et al. (2022) en Camerún, quienes reportaron 1.7 mg/L de hierro por encima de los límites de la OMS (0.3 mg/L). Para el plomo, su toxicidad para la biota acuática y

su movilización en condiciones ácidas (ANA, 2018) son relevantes, especialmente al considerar que Vásquez (2024) también encontró transgresiones de plomo (0.0146-0.02964 mg/L) que excedieron el ECA (0.01-0.05 mg/L). Similarmente, el cobre, a pesar de su baja solubilidad, muestra niveles elevados en aguas abajo, lo que el marco teórico asocia con descargas industriales o mineras (ANA, 2018), un patrón observado por Karikari et al. (2022) en Ghana, donde la concentración media de cobre fue 0.009 mg/L. La consistente superación de los Estándares de Calidad Ambiental por estos metales en las secciones bajas del río Oscocachi, reflejada en la Figura 28, confirma el rol de la minería artesanal como un vector significativo de contaminación, exacerbando el riesgo ambiental y la bioacumulación, como señala Lenntech (2019). Estos resultados consolidan la premisa de la ONU (2018) sobre la minería artesanal como fuente principal de contaminación en cuerpos receptores.

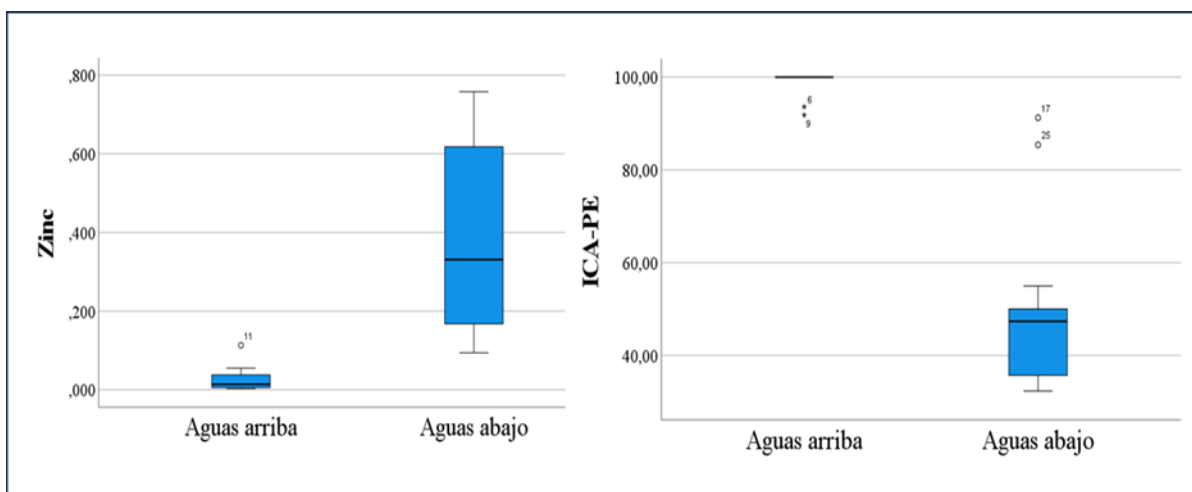


Figura 29. Diagramas de caja comparativos de concentraciones de zinc y valores del ICA-PE entre estaciones aguas arriba y aguas abajo.

Finalmente, la Figura 29 nos muestra que los diagramas de cajas para el zinc y el ICA-PE muestran una disparidad significativa entre las estaciones aguas arriba y aguas abajo. Las concentraciones de zinc son marcadamente más altas y con una mayor variabilidad en las estaciones aguas abajo, mientras que aguas arriba se mantienen en niveles mínimos. Paralelamente, los valores del ICA-PE exhiben un patrón inverso: las estaciones aguas arriba presentan valores consistentemente altos y estables, indicando una calidad "Excelente". En contraste, las estaciones aguas abajo muestran valores de ICA-PE considerablemente más bajos y una dispersión mucho mayor, con la mayoría de las observaciones lejos de la clasificación de "Excelente".

Los datos de la Figura 29 revelan una alteración ambiental crítica, donde el zinc y el Índice de Calidad del Agua (ICA-PE) actúan como indicadores clave del impacto de la minería artesanal.

El aumento significativo de zinc en las estaciones aguas abajo del Oscocachi es consistente con la teoría de que su concentración se eleva bajo condiciones ácidas (ANA, 2018), un escenario que nuestra propia Figura 25 (pH) también sugiere. Aunque el límite de zinc de la OMS es de 5 mg/L (Carbotecnia, 2023), y Karikari et al. (2022) en Ghana reportaron una media de 0.038 mg/L, Vásquez (2024) en Cajamarca encontró transgresiones de hasta 6.27 mg/L, similar a nuestros valores aguas abajo que sobrepasan el ECA. Más alarmante aún es el comportamiento del ICA-PE: mientras que en Aguas arriba la calidad es "Excelente" (cerca al 100%), en Aguas abajo se clasifica como "Regular" o "Malo" (por debajo de 45%), con valores entre 0-29 considerados "Pésimo" (RJ N°068-2018-ANA). Esta caída drástica del ICA-PE, que es una herramienta integradora de la calidad del agua (Novoa, 2021), refleja la combinación de metales pesados, pH bajo y otros parámetros alterados, tal como se documenta en el marco teórico. Chirinos (2022) observó un patrón similar en el río San Juan, donde las secciones medias fueron calificadas como "Pobre" en su HPI y el ICA CCME también mostraba degradación por metales. La evidencia de esta figura subraya cómo la minería artesanal, al consumir y contaminar el agua, degrada la composición química y ecológica del río, tal como lo enfatizan el IIMP (2025) y la ONU (2018), comprometiendo gravemente este recurso vital.

4.5. Consumo de Agua en los Diferentes Procesos de la Minería Artesanal

Para la estimación del consumo de agua en los diferentes procesos de la minería artesanal, se llevó a cabo la recolección de datos mediante entrevistas en 40 socavones. A partir de estas entrevistas, se obtuvieron los resultados que se detallan a continuación, sirviendo como base para el análisis del consumo de agua:

Tabla 38. Análisis descriptivo y consumo estimado de agua por proceso.

Proceso	Unidad	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza	Coefficiente de variación
Producción de Roca	Tn Roca/mes	40	10.00	1500.00	506.50	440.27	193838.72	86.92
Consumo de Agua en Explotación	m ³ /Ton Roca	40	0.05	0.19	0.10	0.04	0.00	38.98
Consumo de Agua en Extracción	m ³ /Ton Roca	40	0.80	3.00	1.62	0.65	0.42	40.06
Consumo de Agua en Quemado	m ³ /Ton Roca	40	0.01	0.10	0.05	0.02	0.00	45.43
Consumo Total de Agua	m ³ /Mes	40	8.60	4935.00	1198.12	1366.71	1867902.94	114.07
N válido (por lista)		40						

El análisis descriptivo de la Tabla 38, basado en 40 observaciones, revela variaciones en el consumo de agua por los procesos de minería artesanal. La producción de roca promedió 506.50 Tn Roca/mes, con una alta dispersión (coeficiente de variación del 86.92%). El consumo de agua por m³ de roca fue mayor en la extracción (1.62 m³), seguido por la explotación (0.10 m³) y el quemado (0.05 m³). En promedio, el consumo total de agua mensual se estimó en 1198.12 m³/mes, mostrando una elevada variabilidad del 114.07%, lo que sugiere grandes diferencias en la escala o métodos operativos de las minas.

Los resultados de la Tabla 38, que muestran un consumo promedio de agua de 1198.12 m³/mes por socavón en la minería artesanal, subrayan la considerable demanda hídrica de esta actividad, lo que se alinea con el marco teórico que identifica a la minería como un uso intensivo del recurso (Avenidaño, 2015; Fernández, 2012). La alta variabilidad (114.07%) en el consumo total de agua mensual sugiere diversas escalas o eficiencias operativas entre los socavones. Si bien las investigaciones, como los de Huanca (2018) o Jiménez (2020), no proporcionan datos cuantitativos directos sobre el volumen de agua consumido por proceso en la minería artesanal, sí enfatizan que la extracción y procesamiento de minerales, que aquí destaca la extracción con 1.62 m³/Tn-Roca, son fases críticas en la contaminación hídrica. Este elevado consumo, por sí mismo, es un factor relevante para entender la magnitud del impacto potencial sobre el río Oscocachi, al servir como un vector clave para la movilización y el transporte de los contaminantes.

Tabla 39. Percepción de contaminación del Río Oscocachi

		Frecuencia	Porcentaje
Válido	No	4	10.0
	Si	36	90.0
	Total	40	100.0

La Tabla 39 expone la percepción de la comunidad sobre la contaminación del Río Oscocachi. De los 40 encuestados, una abrumadora mayoría de 36 personas (90.0%) consideró que el río se encuentra contaminado. Solamente 4 individuos (10.0%) no compartieron esta percepción. Estos datos revelan una fuerte y consistente conciencia local acerca del deterioro ambiental del cuerpo de agua, sugiriendo que los impactos en la calidad del río son evidentes y preocupan a la población.

La marcada percepción comunitaria (90.0%) sobre la contaminación del Río Oscocachi, evidenciada en la Tabla 39, refuerza la premisa del marco teórico que posiciona a la minería

artesanal como una fuente principal de degradación hídrica (ONU, 2018). Este hallazgo es notablemente consistente con estudios locales y regionales; por ejemplo, Meza-Duman et al. (2022), quienes investigaron en el mismo distrito de Ollachea, reportaron que el 92.8% de los pobladores percibían la calidad del río Oscocachi afectada por la minería. De forma similar, Castro (2021), en Madre de Dios, encontró que el 89.8% de los encuestados consideraba "muy alta" la contaminación por mercurio en el río Huaypetuhe debido a la minería. Aunque Mantari y Pinchi (2021) registraron una percepción ligeramente menor (60.3%) en Parcoy, la coherencia cuantitativa de estos estudios subraya una preocupación generalizada y fundamentada por los impactos mineros.

Tabla 40. Percepción de contaminación del río Oscocachi debido al consumo de agua para la actividad minera artesanal

		Frecuencia	Porcentaje
Válido	No	5	12.5
	Si	35	87.5
	Total	40	100.0

La Tabla 40 muestra la percepción de los encuestados sobre la atribución de la contaminación del río Oscocachi. Un 87.5% de los participantes (35 de 40) indicó que el consumo de agua por la actividad minera artesanal es la fuente principal de contaminación del río. Solo el 12.5% (5 individuos) no estuvo de acuerdo. Esto evidencia un consenso muy claro y mayoritario en la comunidad al identificar la minería artesanal como el factor dominante en la degradación de la calidad del agua del río Oscocachi.

El contundente 87.5% de los encuestados que atribuyen la contaminación del río Oscocachi al consumo de agua por la minería artesanal, como muestra la Tabla 40, valida la conexión establecida en el marco teórico entre esta actividad y la degradación ambiental (Avendaño, 2015; ONU, 2018). Si bien Meza-Duman et al. (2022), en un estudio previo en Ollachea, confirmaron una fuerte asociación entre las fuentes afectadas por la minería y la percepción de la calidad del agua ($p=0.0000$), nuestro estudio lo cuantifica directamente como la causa principal percibida. Castro (2021) en Huepetuhe, donde el 88.6% y 87.3% de la población atribuyó la alteración del ecosistema a la minería, reflejan una similitud en la identificación de la fuente de impacto. La comunidad identifica claramente a la minería como la causa principal de la contaminación hídrica en la región.

V. CONCLUSIONES

1. Se demostró de manera concluyente que la minería artesanal es la responsable directa del deterioro del río Oscocachi. El análisis estadístico (prueba U de Mann-Whitney, $p < 0.05$) confirmó un cambio drástico en la hidroquímica del cauce, validando que los vertimientos de la actividad extractiva rompen el equilibrio natural que existe aguas arriba.
2. El deterioro fisicoquímico en la zona de influencia minera es severo. Mientras el río aguas arriba conserva su equilibrio natural con un pH 7.1, aguas abajo se vuelve crítico al alcanzar un pH 3.0, sumado a una alta conductividad, sulfatos y carga orgánica. Esto impide que el río se depure solo, afectando gravemente su salud ecológica.
3. La comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua confirma que las zonas aguas abajo incumplen la normativa. Metales como hierro, aluminio, arsénico, plomo y mercurio superan los límites; hierro y aluminio exceden hasta 20 veces la norma, reflejando drenaje ácido de mina. Las estaciones aguas arriba cumplen, evidenciando el origen antropogénico local de la contaminación.
4. El Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) revela un preocupante deterioro del río. Su estado pasa de "Excelente" aguas arriba a "Regular" o "Malo" aguas abajo. Esta grave degradación, con valores que llegan a 32.34, pone en peligro su uso para el riego de cultivos y el consumo animal.
5. La degradación del río se debe a las aguas residuales de la minería artesanal. Cada socavón consume 1198 m³ de agua al mes, principalmente para extraer roca (1.62 m³ por tonelada). Al verter este volumen sin tratamiento, se movilizan metales pesados y se acidifica el agua, dañando gravemente el ecosistema.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

Considerando los hallazgos de esta investigación, que evidencian una alteración significativa de la calidad del río Oscocachi debido a la acidificación y la presencia de metales pesados por la actividad minera, y reconociendo la complejidad del contexto de informalidad en la zona, se plantean las siguientes líneas de investigación y desarrollo tecnológico para profundizar en la comprensión científica del ecosistema afectado:

1. Desarrollo de modelamiento hidrológico y simulación de transporte de contaminantes:

Se sugiere realizar estudios de modelamiento numérico utilizando herramientas especializadas como SWAT (Soil and Water Assessment Tool) o WEAP. El objetivo sería simular el comportamiento hidrológico de la cuenca y predecir la dispersión de la pluma de contaminación (metales y acidez) bajo diferentes escenarios climáticos (cambio climático) y de intensidad extractiva. Esto permitiría generar data predictiva sobre la capacidad de carga del río y los puntos críticos de acumulación de contaminantes sin depender exclusivamente del monitoreo in situ.

2. Investigación sobre la especiación y movilidad de metales en sedimentos:

Dado que este estudio se centró en la columna de agua, resulta imperativo abrir una línea de investigación enfocada en la geoquímica de los sedimentos del río Oscocachi. Se propone estudiar la especiación química de metales como el plomo, arsénico y mercurio para determinar su biodisponibilidad real y su potencial de removilización hacia la columna de agua ante cambios de pH o turbulencia. Los sedimentos actúan como un "archivo histórico" de la contaminación que debe ser analizado para entender el pasivo ambiental a largo plazo.

3. Evaluación experimental de tecnologías de remediación pasiva a escala piloto:

Frente a la inviabilidad de plantas de tratamiento convencionales en zonas de minería artesanal, se propone investigar la eficiencia de tecnologías de bajo costo y fácil implementación. Específicamente, se sugiere desarrollar estudios piloto sobre la viabilidad de humedales artificiales (wetlands) o el uso de biochar producido localmente para la adsorción de metales pesados y la neutralización del pH en los efluentes de los socavones antes de su descarga, generando conocimiento sobre soluciones técnicas aplicables al contexto andino.

4. Estudios de biomagnificación y ecotoxicología en la cadena trófica:

Habiéndose confirmado concentraciones de mercurio y arsénico que superan los estándares, es necesario

transitar hacia estudios biológicos. Se propone investigar la transferencia de estos contaminantes en los diferentes niveles tróficos del ecosistema acuático (macroinvertebrados bentónicos y peces) y terrestre circundante. Esto generaría evidencia científica sobre las rutas de exposición y el riesgo ecotoxicológico real, más allá de la simple comparación con normativas de calidad de agua.

- 5. Aplicación de técnicas de teledetección para la vigilancia de la calidad del agua:** Se recomienda explorar el uso de imágenes satelitales y algoritmos de teledetección para estimar parámetros de calidad de agua correlacionados con la respuesta espectral, como la turbidez y los sólidos suspendidos totales. Esta línea de investigación permitiría evaluar la dinámica temporal de la contaminación a una escala espacial mayor y con una frecuencia que el muestreo de campo tradicional no permite, superando las barreras logísticas y de seguridad de la zona.

VII. REFERENCIAS

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA]. (2021, marzo 8). *Información básica sobre el mercurio*. EPA Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. <https://childrensenviron.uic.edu/wp-content/uploads/sites/812/2021/09/EPA-Mercury-Spanish-Info-basica-sobre-el-mercurio-US-EPA.pdf>
- American Chemical Society [ACS]. (2024, julio 30). *Lesson 6.4: Temperature and the rate of a chemical reaction*. Middle School Chemistry. <https://www.acs.org/middleschoolchemistry/lessonplans/chapter6/lesson4.html>
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2017). *Guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural de agua* (p. 500). Ministerio de Agricultura y Riego. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/900>
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2018). *Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA*. Autoridad Nacional del Agua. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._068-2018-ana.pdf
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2022, febrero 22). *Plantilla Documentos Oficiales*. Resolución Directoral N° 0044-2022-ANA-AAA.MDD. <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/64-RD-0044-2022-09.pdf>
- Avendaño, V. G. (2015). *Calidad de agua*. En Urteaga, P., Verona, A. (Eds.). *Cinco años de la ley de recursos hídricos en el Perú. Segundas jornadas de derecho de aguas* (pp. 101-115). Gráfica Delvi S. R. L. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/175354>
- Bueno, A. (2021). *Evaluación de la Calidad de Agua del Rio Huancachupa, Contaminado por Descargas de Aguas Residuales en los Distritos de San Francisco de Cayran y Pillco Marca, provincia y departamento de Huánuco, Junio A Agosto – 2019*. Huanuco: Universidad de Huánuco. Obtenido de <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2961>

- Carbotecnia. (2023). *Zinc como contaminante en el agua potables*. Obtenido de Carbotecnia <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/el-zinc-como-contaminante-en-el-agua-potable/>
- Castro, M. (2021). *La minería aurífera y la contaminación ambiental fluvial por mercurio en la localidad de huepethe-Madre de Dios, 2017*. [Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ingeniería Ambiental], Universidad Nacional Federico Villareal]. Repositorio Académico de la UNFV. <https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/5712/TESIS%20--CASTRO%20DARMA%20MIGUEL%20GRIMALDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Chacón, M. (2016). *Análisis Físico y Químico de la calidad del agua*. Colombia: Edición, USTA. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=0hJ_DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Calidad+de+agua&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Calidad%20de%20agua&f=false
- Chirinos, C. (2022). Índice de calidad de agua y contenido de metales pesados en el río San Juan, Cerro de Pasco [Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5236>
- Decreto Ley N° 18880. (1971). *Ley General de Minería*. <https://docs.peru.justia.com/federales/decretos-leyes/18880-jun-8-1971.pdf>.
- Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. (2017, junio 7). *Ministerio del Ambiente*. Diario Oficial El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Duah, A. (2022). Assessing the impacts of artisanal mining on the quality of South-western Rivers System in Ghana. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/S10661-021-09515-Y>

- Fernández, C. A. (2012). *El agua: un recurso esencial*. *Química Viva*, 3(11), 147-170.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002>.
- Garay & Núñez. (2020). *Influencia del vertimiento de la actividad minera Gold Field La Cima en la contaminación de las aguas del Rio Tingo – Maygasbamba, Hualgayoc, Chiclayo*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Académico de la UCV.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_f79221c5258f1ed159757fdbe059c94f/Details
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill.
http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf
- Huanca, P. (2018). *Impactos ambientales y sociales en la minería subterránea a pequeña escala en la Rinconada y Ollachea, Región Puno*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Académico de la UNAP.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/9150>.
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú [IIMP]. (2025, septiembre 24). *PERUMIN 37: Especialistas piden fortalecer capacidad tecnológica en mineros artesanales para un cierre responsable* [Institucional]. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú.
<https://iimp.org.pe/noticias/interna/perumin-37especialistas-piden-fortalecer-capacidad-tecnologica-en-mineros-artesanales-para-un-cierre-responsable>
- Jiménez, H. (2020). *Identificar las causas de los impactos ambientales producidos por la actividad minera sobre los recursos hídricos que desemboca al lago Titicaca-Puno*. Tesis de posgrado, Universidad Paulo Freire Nicaragua]. Repositorio Académico de la UPF.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RENATI_f653e686d7955cd836224def392cf ea6/Details

- Karikari, A., Duah, A., Akurugo, A., & Darko, H. (2022). Assessing the impacts of artisanal mining on the quality of the South-western Rivers System in Ghana. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 715. <https://doi.org/10.1007/S10661-021-09515-Y>
- Krause, J. (2022). Legionella and the Role of Dissolved Oxygen in Its Growth and Inhibition: A Review. *Water*, 14(17), 2644. <https://doi.org/10.3390/w14172644>
- Lema, P. (2017). *Evaluación de tres soluciones nutritivas en hidroponía en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) var. crispata, en invernadero*. Tesis Ing. Agrónomo. Riobamba, Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 118p. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8174/1/13T0853.pdf>
- Lenntech, B. (2019). *Propiedades de los elementos químicos del arsénico, Plomo, Efectos con la Salud y el Medio ambiente*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/index.htm>
- Ley de recursos hídricos. Ley N°29338. (2009). *Congreso de la República*. Diario Oficial El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-29338.pdf>
- Ley General del Ambiente N.º 28611. (2005). *Congreso de la República*. Diario Oficial El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf>
- Ley N°27651, *Ley de formalización y promoción de la pequeña minería y la minera artesanal (24 de enero de 2002)*. Recuperado de: [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/C11A09E6073E226C05257C2F005C5338/\\$FILE/Ley_27651.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/C11A09E6073E226C05257C2F005C5338/$FILE/Ley_27651.pdf)
- López, E., García, B., Reynoso, Y., Gonzáles, P., & Larroudé, V. (2019). *Calidad del agua para usos recreativos desde las perspectivas de la seguridad e higiene laboral y la salud pública. Estudio de caso*. Universidad de Palermo. https://www.palermo.edu/ingenieria/investigacion-desarrollo/pdf/Trabajo_Completo_Lopez_Sardi_Estela_Monicav3.pdf

- Loza, A., & Ccancapa, Y. (2020). Mercurio en un arroyo altoandino con alto impacto por minería aurífera artesanal (la rinconada, Puno, Perú). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 36(1), 33-44. <https://doi.org/10.20937/rica.2020.36.53317>
- Mantari, A., & Pinchi, W. (2021). Influencia de la minería artesanal e informal en la calidad del recurso hídrico de Parcoy, La Libertad. *SCIÉENDO INGENIUM*, 17(2), 11-27. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/3556>
- Marín, A. & Vélez, M (2018). *Impacto ambiental sobre el recurso hídrico, una consecuencia del procesamiento del oro. [Tesis de posgrado, Universidad de Antioquia]. Repositorio Académico de la Universidad de Antioquia.* <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/11559/1/EMA%2012502.pdf>.
- Meza-Duman, R., Hermoza-Gutierrez, M., Maldonado, I., & Salas-Mercado, D. (2022). Percepción social de la calidad del agua y la expansión erritorial de la minería en Ollachea, Puno, Perú. *Comuni@cción: Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo*, 13(1), 16-28. <https://doi.org/10.33595/2226-1478.13.1.580>
- Moya, J. (2020). *Impacto económico y ambiental de la extracción minera en las comunidades de las subcuencas Poopó- Antequera-Pazña, Bolivia – La paz - 2020.* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andres]. <file:///C:/Users/PC/Desktop/T-2533.pdf>.
- Ngounouno, M., Ngounouno, F., Ngueyep, L., Takougang, S., & Ngounouno, I. (2022). Impact of gold mining on the water quality of the lom river, Gankombol, Cameroon. *Heliyon*, 8(12), e12452. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12452>
- Novoa, X. (2021). *La prevención de la legionella y el control de la calidad del agua en entornos hospitalarios.* Xavier Novoa Conde. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=qQI7EAAAQBAJ&pg=PA1&dq=Calidad+de+agua&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q=Calidad%20de%20agua&f=false

- Ordoñez, M. (2022). *La minería ilegal y su impacto en el desarrollo de las comunidades nativas de la Amazonía peruana. Período 2016–2019* [Tesis de maestría, Centro de Altos Estudios Nacionales (CAEN)]. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/economia-general/tesis-crl-ordonez-loli/66222440>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2018, junio 27). *¿Por qué la minería artesanal es tan contaminante?* Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. <https://www.unep.org/noticias-y-reportajes/reportajes/por-que-la-mineria-artesanal-es-tan-contaminante>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2017). *La minera aurífera artesanal o de pequeña escala y la salud. Ginebra – Suiza*. <http://www.paho.org/es/documentos/minera-aurifera-artesanal-pequeña-escala-salud-2017>.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda*. Organización Mundial de la Salud. <https://iris.who.int/handle/10665/272403>
- Pérez, J., Nardin, A. & Galindo, A. (2018). *Análisis comparativo de índices de calidad del agua aplicados al río Ranchería, La Guajira-Colombia*. *Información Tecnológica*, 29(3), 47-58. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000300047&lng=en&nrm=iso&tlng=en.
- Reátegui, O. (2017). *Determinación de la calidad del agua de la Laguna Azul, influenciado por la actividad agrícola en la quebrada Pucayacu, distrito de Sauce, provincia San Martín, 2016*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de san Martín – Tarapoto. <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/2756/1/AMBIENTAL%20-Oswaldo%20Re%c3%a1tegui%20Garc%c3%ada.pdf>.
- Salas-Ávila, D., Chaiña-Chura, F., Belizario-Quispe, G., Quispe-Mamani, E., Huanqui-Pérez, R., Velarde-Coaquira, E., Bernedo-Colca, F., Salas-Mercado, D., & Hermoza-Gutiérrez, M. (2021). Evaluación de metales pesados y comportamiento social asociados con la calidad

del agua en el río Suches, Puno, Perú. *Tecnología y ciencias del agua*, 12(6), 145-195.

<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-06-04>

SENAMHI PUNO. (2021). Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica Dirección Zonal 13. Boletín regional de Puno. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/04701SENA-98.pdf>.

Severiche, C., Castillo, M., & Acevedo, R (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas*. Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso para eumed.net. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/index.htm>

Teves, B. (2016). *Estudio físicoquímico de la calidad del agua del río cacra, región Lima* [Tesis de maestría]. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Toruan, P., Margareta, B., Jumarni, A., Pratiwi, S., & Atina, A. (2023). Pengaruh temperatur air terhadap konduktivitas dan total dissolved solid. *Jurnal Kumparan Fisika*, 6(1), 11-16. <https://doi.org/10.33369/jkf.6.1.11-16>

U.S. Environmental Protection Agency. (2025, 7 de febrero). pH. Causal Analysis/Diagnosis Decision Information System (CADDIS). <https://www.epa.gov/caddis/ph>

U.S. Geological Survey. (2017, agosto 29). *La ciencia del agua para escuelas: Calidad del agua*. U.S. Department of the Interior. <https://water.usgs.gov/gotita/waterquality.html>

Vara, A (2010). *¿Cómo hacer una tesis en ciencias empresariales? Manual breve para los tesisistas de administración, negocios internacionales, recursos humanos y marketing* (Universidad San Martín de Porres). Facultad de ciencias administrativas y recursos humanos.

Vásquez, R. (2024). *Impacto de los vertimientos mineros en la calidad del agua del río tingo, quebrada la eme, quebrada mesa de plata, quebrada el puente la hierba-Hualgayoc 2018-2022* [Tesis para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en Gestión Ambiental, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/7025>

ANEXOS

Apéndice A. Normativas utilizadas

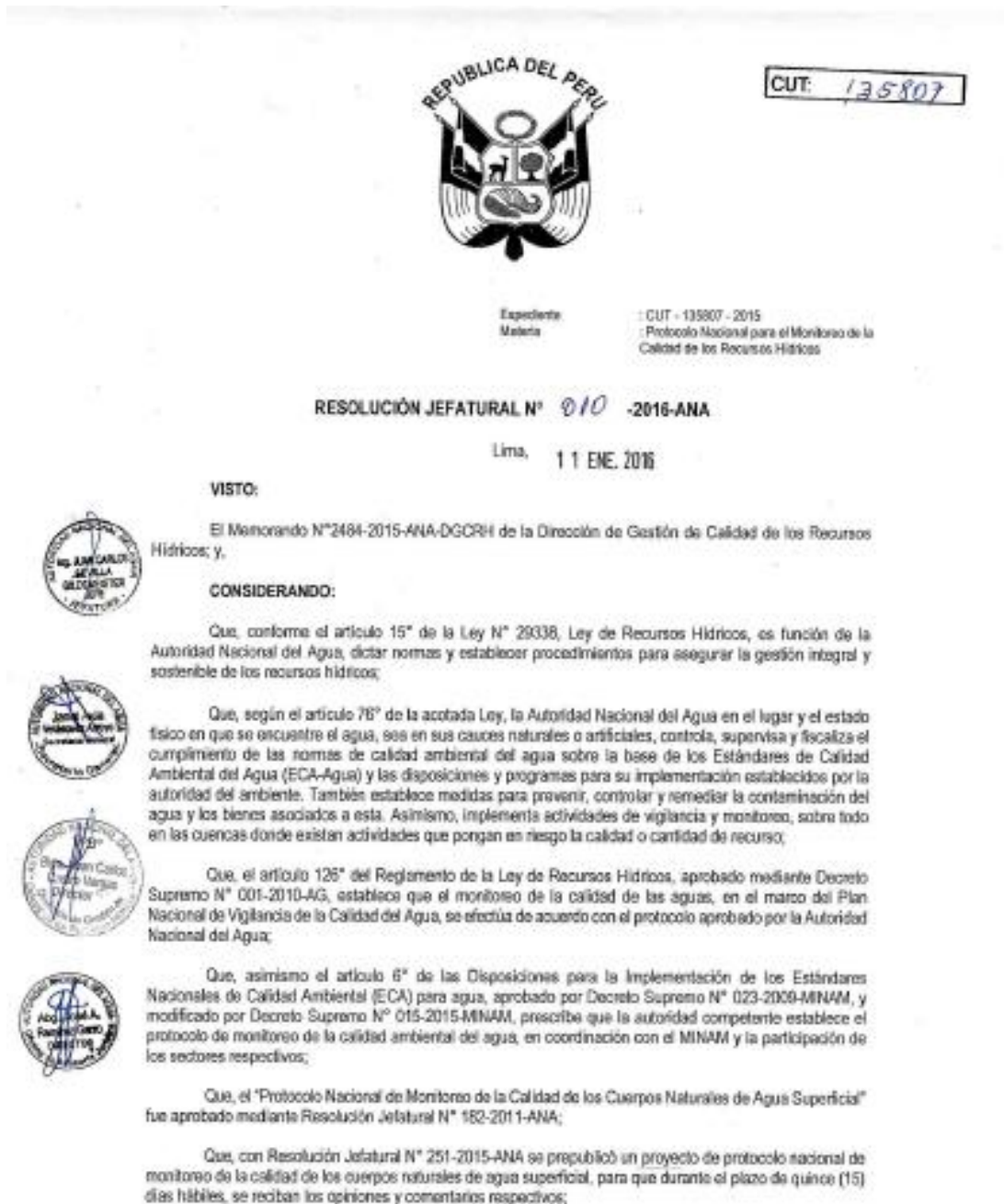


Figura 30. Protocolo Nacional Para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales - Resolución Jefatural N°010-2016 ANA.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(μ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	$\Delta 3$		$\Delta 3$
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Niquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24

Figura 31. Estándares de Calidad Ambiental para Agua-D. S N°004-2017-MINAM. (Categoría 3, Subcategoría D1 y D 2).

Apéndice B. Constancia de laboratorio



**Environmental Quality
Analytical Services S.A.**
Tecnología al Servicio de la Protección y Saneamiento Ambiental



CONSTANCIA

Por medio de la presente se deja constancia que la Srta. Marihellen Cintya Salazar Meza, identificada con DNI N°48312502, ha participado en los servicios brindados por nuestro laboratorio ambiental ENVIRONMENTAL QUALITY ANALYTICAL SERVICES S.A. "EQUAS S.A." con RUC 20160349914, en el marco del desarrollo de su trabajo de tesis titulado "Influencia de la actividad minera artesanal en la calidad del Río Oscocachi, Distrito de Ollachea, Provincia de Carabaya, Departamento de Puno, Periodo 2021-2022", la interesada hizo uso de los resultados de nuestros servicios especializados, presentados a continuación:

Estación	Descripción	Coordenadas UTM (WGS 84 - 19L)		Parámetro	Unidades	Resultados Periodo 2021			
		Este (m)	Norte (m)			I Trimestre	II Trimestre	III Trimestre	IV Trimestre
AA 1	Río Oscocachi, 2.5 km aguas arriba de la comunidad minera	336821	8473730	pH	Unid. pH	7,29	7,09	7,23	7,14
				Temperatura	°C	11,0	7,10	9,40	10,90
				Oxígeno Disuelto	mg/L	6,31	7,54	7,43	7,49
				Conductividad Eléctrica	µs/cm	28,71	37,10	42,99	21,09
				Sulfatos	mg/L	3	6	14	2
				Cloruros	mg/L	2	1	4	1
				Arsénico	mg/L	0,001	0,001	< 0,001	< 0,001
				Mercurio	mg/L	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
				Aluminio	mg/L	< 0,148	0,497	0,514	0,183
				Hierro	mg/L	0,080	0,080	0,775	0,530
				Plomo	mg/L	< 0,011	< 0,011	< 0,011	< 0,011
				Zinc	mg/L	< 0,006	< 0,006	0,041	0,035
				Cobalto	mg/L	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
				Cadmio	mg/L	< 0,003	< 0,003	0,005	0,005
Cobre	mg/L	< 0,006	< 0,006	0,014	0,016				
AA 2	Río Oscocachi, 1km aguas arriba de la comunidad minera	338087	8473927	DBO	mg/L	< 2	< 2	< 2	3
				DQO	mg/L	5	6	7	9
				pH	Unid. pH	6,69	7,15	7,20	6,83
				Temperatura	°C	10,60	8,10	9,50	12,00
				Oxígeno Disuelto	mg/L	6,47	7,24	7,21	8,07
				Conductividad Eléctrica	µs/cm	25,30	37,30	44,67	19,83
				Sulfatos	mg/L	3	19	6	2
				Cloruros	mg/L	< 1	< 1	1	1

Dirección: Mz. I, Lote 74 – Urb. El Naranjito – Puente Piedra (Altura Km. 28-5 Panamericana Norte) – Lima.
Jr. Bernal N°154 – Urb. Bancaria – Piura – Piura.

Teléfonos: Lima: (01)548-4976 / (01)349-4050. Piura: (073)331-371

www.equas.com.pe

Código: F04-P.COM.01

Versión N°: 01

Fecha: 11/06/2022

AAE/MTL/MTL

Página 1 de 5



Environmental Quality Analytical Services S.A.

Tecnología al Servicio de la Protección y Saneamiento Ambiental



				Arsénico	mg/L	0,001	< 0,001	< 0,001	0,002
				Mercurio	mg/L	0,0011	0,0004	0,0010	< 0,0002
				Aluminio	mg/L	< 0,148	< 0,148	< 0,148	0,522
				Hierro	mg/L	0,229	0,167	0,178	0,929
				Plomo	mg/L	< 0,011	< 0,011	< 0,011	< 0,011
				Zinc	mg/L	0,032	0,055	0,113	0,047
				Cobalto	mg/L	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
				Cadmio	mg/L	0,005	0,006	0,006	0,004
				Cobre	mg/L	0,010	< 0,006	< 0,006	0,020
				DBO	mg/L	< 2	< 2	< 2	8
				DQO	mg/L	6	6	6	20
Aa 1	Rio Oscocachi, 1 km aguas abajo de la comunidad minera	339928	8474348	pH	Unid. pH	6,84	3,61	3,01	4,38
				Temperatura	°C	11,00	9,30	10,30	13,60
				Oxígeno Disuelto	mg/L	6,34	7,30	7,22	7,53
				Conductividad Eléctrica	µs/cm	94,11	272	717,60	103,70
				Sulfatos	mg/L	9	95	178	16
				Cloruros	mg/L	1	20	4	9
				Arsénico	mg/L	0,025	0,042	0,012	0,102
				Mercurio	mg/L	0,0003	0,0009	0,0014	0,0004
				Aluminio	mg/L	2,084	7,439	9,266	5,946
				Hierro	mg/L	5,592	20,246	22,946	17,989
				Plomo	mg/L	< 0,011	< 0,011	0,022	< 0,011
				Zinc	mg/L	0,094	0,313	0,485	0,163
				Cobalto	mg/L	< 0,008	0,051	0,083	0,030
				Cadmio	mg/L	0,005	0,007	0,011	0,007
				Cobre	mg/L	0,018	0,029	0,046	0,036
				DBO	mg/L	< 2	4	3	7
				DQO	mg/L	6	10	9	16
Aa 2	Rio Oscocachi, 2 km aguas a bajo de la comunidad minera	341091	9474900	pH	Unid. pH	6,83	3,46	3,20	4,37
				Temperatura	°C	11,70	12,60	11,20	15,80
				Oxígeno Disuelto	mg/L	6,00	7,57	7,33	7,46
				Conductividad Eléctrica	µs/cm	115,70	247	489,40	164,30

Dirección: Mz. I, Lote 74 – Urb. El Naranjito – Puente Piedra (Altura Km. 28-5 Panamericana Norte) – Lima.
Jr. Bernal N°154 – Urb. Bancaria – Piura – Piura.

Teléfonos: Lima: (01)548-4976 / (01)349-4050. Piura: (073)331-371

www.equas.com.pe

Código: F04-P.COM.01

Versión N°: 01

Fecha: 11/06/2022

AAE/MTL/MTL

Página 2 de 5



Environmental Quality Analytical Services S.A.

Tecnología al Servicio de la Protección y Saneamiento Ambiental



Sulfatos	mg/L	12	94	98	24
Cloruros	mg/L	1	12	3	13
Arsénico	mg/L	0,015	0,019	0,011	0,181
Mercurio	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	< 0,0002
Aluminio	mg/L	2,299	5,298	7,526	9,646
Hierro	mg/L	6,480	12,459	16,232	29,812
Plomo	mg/L	< 0,011	< 0,011	0,021	< 0,011
Zinc	mg/L	0,112	0,245	0,381	0,217
Cobalto	mg/L	0,016	0,037	0,068	0,039
Cadmio	mg/L	0,006	0,006	0,007	0,005
Cobre	mg/L	0,015	0,026	0,039	0,042
DBO	mg/L	< 2	2	3	7
DQO	mg/L	7	7	8	17

Estación	Descripción	Coordenadas UTM (WGS 84 - 19L)		Parámetro	Unidades	Resultados Periodo 2022			
		Este (m)	Norte (m)			I Trimestre	II Trimestre	III Trimestre	IV Trimestre
AA 1	Rio Oscocachi, 2.5 km arriba de la comunidad minera	336821	8473730	pH	Unid. pH	7,04	6,36	7,10	7,11
				Temperatura	°C	10,80	6,40	8,80	13,00
				Oxígeno Disuelto	mg/L	7,20	7,96	7,15	6,85
				Conductividad Eléctrica	µs/cm	28,90	38,90	48,12	37,30
				Sulfatos	mg/L	8	8	10	16
				Cloruros	mg/L	5	1	< 1	< 1
				Arsénico	mg/L	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001
				Mercurio	mg/L	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	0,0003
				Aluminio	mg/L	< 0,148	< 0,148	< 0,148	0,313
				Hierro	mg/L	0,249	< 0,013	0,059	0,618
				Plomo	mg/L	< 0,011	< 0,011	< 0,011	< 0,011
Zinc	mg/L	0,008	< 0,006	0,008	0,022				
Cobalto	mg/L	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008				

Dirección: Mz. I, Lote 74 – Urb. El Naranjito – Puente Piedra (Altura Km. 28-5 Panamericana Norte) – Lima.
Jr. Bernal N°154 – Urb. Bancaria – Piura – Piura.

Teléfonos: Lima: (01)548-4976 / (01)349-4050. Piura:(073)331-371

www.equas.com.pe

Código: F04-P.COM.01
Versión N°: 01
Fecha: 11/06/2022

AAE/MTL/MTL

Página 3 de 5



Environmental Quality Analytical Services S.A.

Tecnología al Servicio de la Protección y Saneamiento Ambiental



AA 2	Rio Oscocachi, 1km aguas arriba de la comunidad minera	338087	8473927	Cadmio	mg/L	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
				Cobre	mg/L	< 0,006	< 0,006	< 0,006	0,006
				DBO	mg/L	5	2	< 2	< 2
				DQO	mg/L	13	6	6	< 5
				pH	Unid. pH	7,15	6,54	7,94	7,18
				Temperatura	°C	13,60	13,80	9,30	11,90
				Oxígeno Disuelto	mg/L	7,18	7,88	7,28	7,47
				Conductividad Eléctrica	µs/cm	18,81	39,50	70,66	52,30
				Sulfatos	mg/L	7	9	11	10
				Cloruros	mg/L	4	< 1	5	2
				Arsénico	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
				Mercurio	mg/L	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
				Aluminio	mg/L	< 0,148	< 0,148	< 0,148	< 0,148
				Hierro	mg/L	0,348	0,042	0,109	0,203
				Plomo	mg/L	< 0,011	< 0,011	< 0,011	< 0,011
				Zinc	mg/L	0,014	< 0,006	0,014	0,013
Cobalto	mg/L	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008				
Cadmio	mg/L	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003				
Cobre	mg/L	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006				
DBO	mg/L	3	2	< 2	< 2				
DQO	mg/L	8	6	6	< 5				
Aa 1	Rio Oscocachi, 1 km aguas abajo de la comunidad minera	339928	8474348	pH	Unid. pH	6,08	3,30	5,20	3,00
				Temperatura	°C	13,20	13,20	14,80	13,60
				Oxígeno Disuelto	mg/L	7,62	7,86	7,24	6,99
				Conductividad Eléctrica	µs/cm	50,60	769	1 098,00	712
				Sulfatos	mg/L	20	343	473	378
				Cloruros	mg/L	5	6	3	15
				Arsénico	mg/L	0,091	0,315	0,220	0,866
				Mercurio	mg/L	0,0008	< 0,0002	0,0020	0,0008
				Aluminio	mg/L	8,075	27,529	26,766	20,635
				Hierro	mg/L	25,738	111,859	135,569	86,627
				Plomo	mg/L	< 0,011	0,049	0,068	0,081
				Zinc	mg/L	0,141	0,618	0,665	0,618
				Cobalto	mg/L	< 0,008	0,172	0,173	0,128

Dirección: Mz. I, Lote 74 – Urb. El Naranjito – Puente Piedra (Altura Km. 28-5 Panamericana Norte) – Lima.
Jr. Bernal N°154 – Urb. Bancaria – Piura – Piura.

Teléfonos: Lima: (01)548-4976 / (01)349-4050. Piura:(073)331-371

www.equas.com.pe

Código: F04-P.COM.01
Versión N°: 01
Fecha: 11/06/2022

AAE/MTL/MTL

Página 4 de 5



**Environmental Quality
Analytical Services S.A.**
Tecnología al Servicio de la Protección y Saneamiento Ambiental



				Cadmio	mg/L	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
				Cobre	mg/L	0,030	0,077	0,108	0,084
				DBO	mg/L	4	6	11	34
				DQO	mg/L	7	8	20	60
Aa 2	Rio Oscocachi, 2 km aguas abajo de la comunidad minera	341091	9474900	pH	Unid. pH	4,61	3,24	4,45	3,32
				Temperatura	°C	13,50	12,10	14,30	14,20
				Oxígeno Disuelto	mg/L	7,94	7,96	7,59	7,47
				Conductividad Eléctrica	µs/cm	96,50	695,20	944,30	52,30
				Sulfatos	mg/L	42	170	366	398
				Cloruros	mg/L	14	6	3	20
				Arsénico	mg/L	0,095	0,039	0,267	0,829
				Mercurio	mg/L	0,0009	0,0002	0,0034	0,0006
				Aluminio	mg/L	9,659	9,509	26,706	23,676
				Hierro	mg/L	29,468	21,986	116,102	118,786
				Plomo	mg/L	< 0,011	< 0,011	0,055	0,066
				Zinc	mg/L	0,172	0,349	0,632	0,758
				Cobalto	mg/L	0,028	0,102	0,148	0,188
				Cadmio	mg/L	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
				Cobre	mg/L	0,042	0,031	0,077	0,089
				DBO	mg/L	3	6	7	39
				DQO	mg/L	6	10	9	73

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que estime conveniente.

Lima 03, Noviembre 2025

EQUAS S.A.

Ing. Eusebio Víctor Córdor Evaristo
Gerente General



Dirección: Mz. I, Lote 74 – Urb. El Naranjito – Puente Piedra (Altura Km. 28-5 Panamericana Norte) – Lima.
Jr. Bernal N°154 – Urb. Bancaria – Piura – Piura.
Teléfonos: Lima: (01)548-4976 / (01)349-4050. Piura:(073)331-371

www.equas.com.pe

Código: F04-P.COM.01
Versión N°: 01
Fecha: 11/06/2022

AAE/MTL/MTL

Página 5 de 5

Apéndice C. Modelo o datos de encuesta

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) **Sexo a la que pertenece**

- a. Masculino.
- b. Femenino

2) **¿Rango de Edad en la que se encuentra?**

- a. 18-25 años.
- b. 26-35 años.
- c. 36-45 años.
- d. 45 a más años.

3) **¿Qué grado de instrucción posee?**

- a. Primaria Completa
- b. Secundaria completa.
- c. Estudios Técnicos
- d. Estudios superiores o Universitarios

7) **¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?**

8) **¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?**

- a. Si
- b. No

9) **¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?**

- a. Si
- b. No

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) **¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?**

5) **¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?**

6) **¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?**

Formato de Validación del Instrumento de investigación (Entrevista).



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



VALIDEZ DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACION

JUICIO DE EXPERTOS

Entrevista para estimar el consumo de agua en los diferentes procesos de la minería artesanal, en el Distrito de Ollachea, Provincia de Carabaya, Puno.

Responsable: Salazar Meza Marihellen Cintya

Introducción: Una vez realizado la entrevista, se procede a solicitar que, en base a su criterio y experiencia profesional, valide dicha encuesta para su aplicación.

Indique su grado de acuerdo frente a las siguientes afirmaciones: 1= Muy en desacuerdo 2= En desacuerdo. 3=Regularmente de acuerdo 4=De acuerdo 5 = Muy de acuerdo	Grado de Acuerdo				
	1	2	3	4	5
Está formulado con lenguaje apropiado					x
Está expresado en conductas observables				x	
La estrategia responde al propósito del diagnóstico				x	
La encuesta tiene como finalidad recoger información relevante para el estudio propuesto				x	

Opinión global.

Abordar la relación entre el consumo de agua y la calidad del río permite vincular dos dimensiones del problema: el uso intensivo del recurso y su degradación ambiental.

Puntuación:

- De 3 a 10 : no validad, reformular.
- De 11 a 13 : No validad , modificar.
- De 14 a 16: Valido , mejorar.
- De 17 a 20 : Valido , aplicar.

Apellidos y Nombres	Rivera Zavaleta Giovanna Estela	DNI	10132018
Especialidad	Ing Ambiental y de Recursos Naturales	Puntuación	17
Firma			

Formato de Validación del Instrumento de investigación (Entrevista).



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



VALIDEZ DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACION

JUICIO DE EXPERTOS

Entrevista para estimar el consumo de agua en los diferentes procesos de la minería artesanal, en el Distrito de Ollachea, Provincia de Carabaya, Puno.

Responsable: Salazar Meza Marihellen Cintya

Introducción: Una vez realizado la entrevista, se procede a solicitar que, en base a su criterio y experiencia profesional, valide dicha encuesta para su aplicación.

Indique su grado de acuerdo frente a las siguientes afirmaciones: 1= Muy en desacuerdo 2= En desacuerdo. 3=Regularmente de acuerdo 4=De acuerdo 5 = Muy de acuerdo	Grado de Acuerdo				
	1	2	3	4	5
Está formulado con lenguaje apropiado					x
Está expresado en conductas observables				x	
La estrategia responde al propósito del diagnóstico				x	
La encuesta tiene como finalidad recoger información relevante para el estudio propuesto				x	

Opinión global.

Presenta una estructura clara, aborda de manera pertinente los aspectos técnicos y sociales del consumo de agua en la minería artesanal desarrollada en el distrito de Ollachea, es coherente con los objetivos de la investigación y permite obtener información relevante para el estudio.

Puntuación:

- De 3 a 10 : no validad, reformular.
- De 11 a 13 : No validad , modificar.
- De 14 a 16: Valido , mejorar.
- De 17 a 20 : Valido , aplicar.

Apellidos y Nombres	Carmona Quelopana Flor Dennis	DNI	10132018
Especialidad	Ing Ambiental	Puntuación	17
Firma			

Formato de Validación del Instrumento de investigación (Entrevista).



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



VALIDEZ DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACION

JUICIO DE EXPERTOS

Entrevista para estimar el consumo de agua en los diferentes procesos de la minería artesanal, en el Distrito de Ollachea, Provincia de Carabaya, Puno.

Responsable: Salazar Meza Marihellen Cintya

Introducción: Una vez realizado la entrevista, se procede a solicitar que, en base a su criterio y experiencia profesional, valide dicha encuesta para su aplicación.

Indique su grado de acuerdo frente a las siguientes afirmaciones: 1= Muy en desacuerdo 2= En desacuerdo. 3=Regularmente de acuerdo 4=De acuerdo 5 = Muy de acuerdo	Grado de Acuerdo				
	1	2	3	4	5
Está formulado con lenguaje apropiado				x	
Está expresado en conductas observables				x	
La estrategia responde al propósito del diagnóstico				x	
La encuesta tiene como finalidad recoger información relevante para el estudio propuesto					x

Opinión global.

Evidencia una estructura adecuada, aborda de manera articulada las dimensiones técnicas y sociales vinculadas al consumo de agua en la actividad minera artesanal mantiene correspondencia con los objetivos específicos de la investigación y posibilita la recopilación de información pertinente.

Puntuación:

- De 3 a 10 : no validad, reformular.
- De 11 a 13 : No validad , modificar.
- De 14 a 16: Valido , mejorar.
- De 17 a 20 : Valido , aplicar.

Apellidos y Nombres	Zubizarreta Espinoza Julissa	DNI	10132018
Especialidad	Lic. Sociología	Puntuación	17
Firma			

Apéndice D. Datos de la encuesta

Tabla de datos generales (40 de 45 Socavones)

ID_Socavón	P1_Sexo	P2_Rango_Edad	P3_Grado_Instruccion	Produccion_TnRoca_Mes	Explotacion_m3_TonRoca	Extraccion_m3_TonRoca	Quemado_m3_TonRoca	Consumo_Total_m3_Mes	Pregunta_10_Contaminacion_Rio	Pregunta_11_Actividad_Fuente_Contaminacion
1	Masculino	26-35 años	Secundaria completa	75	0.07	1.1	0.04	90.75	Sí	Sí
2	Masculino	36-45 años	Secundaria completa	480	0.11	1.7	0.06	907.2	Sí	Sí
3	Masculino	36-45 años	Primaria Completa	1100	0.16	2.8	0.09	3355	Sí	Sí
4	Masculino	26-35 años	Secundaria completa	120	0.06	0.9	0.03	118.8	Sí	Sí
5	Masculino	45 a más años	Primaria Completa	650	0.1	1.6	0.05	1137.5	Sí	Sí
6	Masculino	18-25 años	Secundaria completa	30	0.05	0.8	0.02	26.1	Sí	No
7	Masculino	26-35 años	Estudios Técnicos	250	0.09	1.4	0.04	382.5	Sí	Sí
8	Masculino	36-45 años	Primaria Completa	950	0.14	2.2	0.07	2290.5	Sí	Sí
9	Masculino	26-35 años	Secundaria completa	50	0.06	1	0.03	54.5	Sí	Sí
10	Masculino	45 a más años	Primaria Completa	700	0.12	1.8	0.06	1386	Sí	Sí
11	Masculino	26-35 años	Secundaria completa	150	0.08	1.2	0.04	198	Sí	Sí
12	Masculino	36-45 años	Estudios Técnicos	550	0.1	1.5	0.05	907.5	Sí	Sí
13	Masculino	36-45 años	Primaria Completa	800	0.13	2	0.07	1760	Sí	Sí
14	Masculino	26-35 años	Secundaria completa	40	0.05	0.9	0.03	40.8	Sí	No
15	Masculino	45 a más años	Primaria Completa	1300	0.17	2.9	0.1	4122	Sí	Sí
16	Masculino	26-35 años	Secundaria completa	90	0.07	1.1	0.04	108.9	No	Sí
17	Masculino	36-45 años	Estudios Técnicos	600	0.11	1.7	0.06	1062	Sí	Sí
18	Masculino	26-35 años	Secundaria completa	200	0.08	1.3	0.05	286	Sí	Sí
19	Masculino	45 a más años	Primaria Completa	1000	0.15	2.4	0.08	2630	Sí	Sí
20	Masculino	18-25 años	Secundaria completa	60	0.06	1	0.03	65.4	No	No
21	Masculino	26-35 años	Estudios Técnicos	400	0.1	1.5	0.05	660	Sí	Sí
22	Masculino	36-45 años	Primaria Completa	850	0.13	2.1	0.07	1955	Sí	Sí
23	Masculino	26-35 años	Secundaria completa	180	0.08	1.2	0.04	244.8	Sí	Sí
24	Masculino	45 a más años	Primaria Completa	1400	0.18	2.9	0.1	4452	Sí	Sí
25	Femenino	26-35 años	Secundaria completa	45	0.05	0.8	0.02	39.15	Sí	Sí
26	Masculino	36-45 años	Estudios Técnicos	320	0.09	1.4	0.04	499.2	Sí	Sí
27	Masculino	36-45 años	Primaria Completa	780	0.12	1.9	0.07	1638.6	Sí	Sí
28	Masculino	45 a más años	Secundaria completa	900	0.14	2.3	0.08	2268	Sí	Sí
29	Masculino	26-35 años	Estudios Técnicos	105	0.07	1.1	0.04	137.55	Sí	Sí
30	Masculino	36-45 años	Primaria Completa	580	0.11	1.7	0.05	1087.8	Sí	No
31	Masculino	18-25 años	Secundaria completa	25	0.05	0.8	0.01	21.5	No	Sí

32	Mascu lino	45 a más años	Estudios Técnicos	720	0.12	1.8	0.06	1425.6	Sí	Sí
33	Mascu lino	36-45 años	Primaria Completa	1500	0.19	3	0.1	4785	Sí	Sí
34	Mascu lino	26-35 años	Secundaria completa	90	0.06	1	0.03	100.8	Sí	Sí
35	Mascu lino	36-45 años	Estudios Técnicos	380	0.1	1.5	0.05	627	Sí	Sí
36	Mascu lino	45 a más años	Primaria Completa	800	0.13	2.1	0.07	1840	Sí	Sí
37	Mascu lino	26-35 años	Estudios Técnicos	110	0.07	1.2	0.04	144.1	Sí	Sí
38	Mascu lino	36-45 años	Secundaria completa	520	0.11	1.6	0.05	915.2	Sí	Sí
39	Mascu lino	18-25 años	Primaria Completa	10	0.05	0.8	0.01	8.6	No	No
40	Mascu lino	45 a más años	Estudios Técnicos	1350	0.17	2.7	0.09	4005	Sí	Sí

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

Masculino.

b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

a. 18-25 años.

26-35 años.

c. 36-45 años.

d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

a. Primaria Completa

Secundaria completa.

c. Estudios Técnicos

d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

75 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua

se consume durante el proceso de explotación?

0.07 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.1 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua

se consume durante el proceso de quemado?

0.04 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

Si

b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

Si

b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

Masculino.

b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

a. 18-25 años.

b. 26-35 años.

36-45 años.

d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

a. Primaria Completa

Secundaria completa.

c. Estudios Técnicos

d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

480 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua

se consume durante el proceso de explotación?

0.11 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.7 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua

se consume durante el proceso de quemado?

0.06 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

Si

b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

Si

b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- a. Masculino.
- b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
- b. 26-35 años.
- c. 36-45 años.
- d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
- b. Secundaria completa.
- c. Estudios Técnicos
- d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

1100 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.16 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

2.8 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.09 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- a. Si
- b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
- b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- a. Masculino.
- b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
- b. 26-35 años.
- c. 36-45 años.
- d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria (Cecy) etc
- b. Secundaria completa.
- c. Estudios Técnicos
- d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de toneladas roca extraen mensualmente?

120 tn/rocas/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.6 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

0.9 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.03 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- a. Si
- b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
- b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- Masculino.
- b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
- b. 26-35 años.
- c. 36-45 años.
- d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
- b. Secundaria completa.
- c. Estudios Técnicos
- d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

650 tn roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.1 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.6 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.05 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- a. Si
- b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
- b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- Masculino.
- b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
- b. 26-35 años.
- c. 36-45 años.
- d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
- b. Secundaria completa.
- c. Estudios Técnicos
- d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

30 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.05 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

0.8 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.02 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- a. Si
- b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
- b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

Masculino.

b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

a. 18-25 años.

26-35 años.

c. 36-45 años.

d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

a. Primaria Completa

b. Secundaria completa.

Estudios Técnicos

d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

250 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.09 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.4 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.04 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

Si

b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

Si

b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

Masculino.

b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

a. 18-25 años.

b. 26-35 años.

36-45 años.

d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

Primaria Completa

b. Secundaria completa.

c. Estudios Técnicos

d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuanto de toneladas roca extraen mensualmente?

950 m³

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.14 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

2.2 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.07 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

Si

b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

Si

b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

a. Masculino.

b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

a. 18-25 años.

b. 26-35 años.

c. 36-45 años.

d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

a. Primaria Completa

b. Secundaria completa.

c. Estudios Técnicos

d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

50 t/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua

se consume durante el proceso de explotación?

0.06 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.03 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

a. Si

b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

a. Si

b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

a. Masculino.

b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

a. 18-25 años.

b. 26-35 años.

c. 36-45 años.

d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

a. Primaria Completa

b. Secundaria completa.

c. Estudios Técnicos

d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

700 t/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.12 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.8 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.06 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

a. Si

b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

a. Si

b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- a. Masculino.
- b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
- b. 26-35 años.
- c. 36-45 años.
- d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
- b. Secundaria completa.
- c. Estudios Técnicos
- d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

150 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.08 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.2 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.04 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- a. Si
- b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
- b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- a. Masculino.
- b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
- b. 26-35 años.
- c. 36-45 años.
- d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
- b. Secundaria completa.
- c. Estudios Técnicos
- d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

550 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.1 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.5 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.05 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- a. Si
- b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
- b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- Masculino.
b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
b. 26-35 años.
 36-45 años.
d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- Primaria Completa
b. Secundaria completa.
c. Estudios Técnicos
d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

800 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.13 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

2 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.07 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- Si
b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- Si
b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- Masculino.
b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
 26-35 años.
c. 36-45 años.
d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- Primaria Completa
 Secundaria completa.
c. Estudios Técnicos
d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de toneladas roca extraen mensualmente?

40 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.05 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

0.9 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.03 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- Si
b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- Si
 No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- Masculino.
b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
b. 26-35 años.
c. 36-45 años.
 d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
b. Secundaria completa.
c. Estudios Técnicos
d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de toneladas roca extraen mensualmente?

1300 tn / roca / mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.17 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

2.9 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.1 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentra contaminado?

- a. Si
b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- a. Masculino.
b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
 b. 26-35 años.
c. 36-45 años.
d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
b. Secundaria completa.
c. Estudios Técnicos
d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de toneladas roca extraen mensualmente?

90 tn / roca / mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.07 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.1 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.04 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentra contaminado?

- a. Si
 b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

a. Masculino.

b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

a. 18-25 años.

b. 26-35 años.

c. 36-45 años.

d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

a. Primaria Completa

b. Secundaria completa.

c. Estudios Técnicos

d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

600 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.11 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.7 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.06 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

a. Si

b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

a. Si

b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

a. Masculino.

b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

a. 18-25 años.

b. 26-35 años.

c. 36-45 años.

d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

a. Primaria Completa

b. Secundaria completa.

c. Estudios Técnicos

d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

200 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.08 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.3 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.05 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

a. Si

b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

a. Si

b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

Masculino.

b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

a. 18-25 años.

b. 26-35 años.

c. 36-45 años.

d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

a. Primaria Completa

b. Secundaria completa.

c. Estudios Técnicos

d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

1000 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.15 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

2.4 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.08 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

a. Si
b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

a. Si
b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

Masculino.

b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

a. 18-25 años.

b. 26-35 años.

c. 36-45 años.

d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

a. Primaria Completa

b. Secundaria completa.

c. Estudios Técnicos

d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

60 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.06 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.03 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

a. Si
 b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

a. Si
 b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- Masculino.
b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
 26-35 años.
c. 36-45 años.
d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
b. Secundaria completa.

- Estudios Técnicos
d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

400 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.1 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.5 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.05 m³

8) ¿Cree usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- Si
b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- Si
b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- Masculino.
b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
b. 26-35 años.
 36-45 años.
d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- Primaria Completa
b. Secundaria completa.
c. Estudios Técnicos
d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de toneladas roca extraen mensualmente?

850 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.13 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

2.1 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.07 m³

8) ¿Cree usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- Si
b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- Si
b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

- 1) Sexo a la que pertenece
 - Masculino.
 - b. Femenino
- 2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?
 - a. 18-25 años.
 - 26-35 años.
 - c. 36-45 años.
 - d. 45 a más años.
- 3) ¿Qué grado de instrucción posee?
 - a. Primaria Completa
 - Secundaria completa.
 - c. Estudios Técnicos
 - d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

- 4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

180 tn /roca /mes
- 5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

- 6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

0.08 m³
- 7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

1.2 m³
- 8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?
 - Si
 - b. No

- 9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?
 - Si
 - b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

- 1) Sexo a la que pertenece
 - Masculino.
 - b. Femenino
- 2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?
 - a. 18-25 años.
 - b. 26-35 años.
 - c. 36-45 años.
 - 45 a más años.
- 3) ¿Qué grado de instrucción posee?
 - Primaria Completa
 - b. Secundaria completa.
 - c. Estudios Técnicos
 - d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

- 4) ¿Cuánto de toneladas roca extraen mensualmente?

1400 tn /roca /mes
- 5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

- 6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

0.18 m³
- 7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

2.9 m³
- 8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?
 - Si
 - b. No

- 9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?
 - Si
 - b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

a. Masculino.

Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

a. 18-25 años.

26-35 años.

c. 36-45 años.

d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

a. Primaria Completa

Secundaria completa.

c. Estudios Técnicos

d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

45 tn roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.05 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

0.8 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.02 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

Si

b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

Si

b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

Masculino.

b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

a. 18-25 años.

b. 26-35 años.

36-45 años.

d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

a. Primaria Completa

b. Secundaria completa.

Estudios Técnicos

d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

320 tn roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.09 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.4 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.04 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

Si

b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

Si

b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- Masculino.
- b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
- b. 26-35 años.
- 36-45 años.
- d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- Primaria Completa
- b. Secundaria completa.
- c. Estudios Técnicos
- d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

780 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.12 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.9 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.07 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- Si
- b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- Si
- b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- Masculino.
- b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
- b. 26-35 años.
- c. 36-45 años.
- 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- Secundaria completa.
- c. Estudios Técnicos
- d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de toneladas roca extraen mensualmente?

900 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.14 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

2.3 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.08 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- Si
- b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- Si
- b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- a. Masculino.
- b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
- b. 26-35 años.
- c. 36-45 años.
- d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
- b. Secundaria completa.
- c. Estudios Técnicos
- d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

105 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.07 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1 l m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.04 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- a. Si
- b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
- b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- a. Masculino.
- b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
- b. 26-35 años.
- c. 36-45 años.
- d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
- b. Secundaria completa.
- c. Estudios Técnicos
- d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

580 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.11 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.7 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.05 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- a. Si
- b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
- b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

Masculino.

b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

18-25 años.

b. 26-35 años.

c. 36-45 años.

d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

a. Primaria Completa

Secundaria completa.

c. Estudios Técnicos

d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de toneladas roca extraen mensualmente?

25 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.05 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

0.8 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.01 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

a. Si

No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

Si

b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

Masculino.

b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

a. 18-25 años.

b. 26-35 años.

c. 36-45 años.

45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

a. Primaria Completa

b. Secundaria completa.

Estudios Técnicos

d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de toneladas roca extraen mensualmente?

720 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.12 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.8 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.06 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

Si

b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

Si

b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- Masculino.
- b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
- b. 26-35 años.
- 36-45 años.
- d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- Primaria Completa
- b. Secundaria completa.
- c. Estudios Técnicos
- d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

1500 tn roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.19 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

3 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.1 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- Si
- b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- Si
- b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- Masculino.
- b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
- 26-35 años.
- c. 36-45 años.
- d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
- Secundaria completa.
- c. Estudios Técnicos
- d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de toneladas roca extraen mensualmente?

90 tn roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.06 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.03 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- Si
- b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- Si
- b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- a. Masculino.
b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
b. 26-35 años.
 c. 36-45 años.
d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
b. Secundaria completa.
 c. Estudios Técnicos
d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

380 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.1 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.5 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.05 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- a. Si
b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- a. Masculino.
b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
b. 26-35 años.
c. 36-45 años.
 d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa.
b. Secundaria completa.
c. Estudios Técnicos
d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

800 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.13 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

2.1 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.07 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- a. Si
b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- a. Masculino.
- b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
- b. 26-35 años.
- c. 36-45 años.
- d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
- b. Secundaria completa.
- c. Estudios Técnicos
- d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

110 tn / roca / mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.07 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.2 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.04 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- a. Si
- b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
- b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- a. Masculino.
- b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
- b. 26-35 años.
- c. 36-45 años.
- d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
- b. Secundaria completa.
- c. Estudios Técnicos
- d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

520 tn / roca / mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.11 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

1.6 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.05 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- a. Si
- b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
- b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- a. Masculino.
b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
b. 26-35 años.
c. 36-45 años.
d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
b. Secundaria completa.
c. Estudios Técnicos
d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

10 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.05 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

0.8 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.01 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- a. Si
 b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
 b. No

Entrevista de la investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



La presente entrevista es anónima y será utilizado solo para fines de investigación. Responder con sinceridad y de antemano agradecerle por su participación.

Datos generales

1) Sexo a la que pertenece

- a. Masculino.
b. Femenino

2) ¿Rango de Edad en la que se encuentra?

- a. 18-25 años.
b. 26-35 años.
c. 36-45 años.
 d. 45 a más años.

3) ¿Qué grado de instrucción posee?

- a. Primaria Completa
b. Secundaria completa.
 c. Estudios Técnicos
d. Estudios superiores o Universitarios

Indicadores del consumo de agua de la minería

artesanal

4) ¿Cuánto de tonelada roca extraen mensualmente?

1350 tn/roca/mes

5) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de explotación?

0.17 m³

6) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de extracción?

2.7 m³

7) ¿Cuántos litros o metros cúbicos de agua se consume durante el proceso de quemado?

0.09 m³

8) ¿Crees usted que la quebrada Oscocachi se encuentre contaminado?

- a. Si
b. No

9) ¿Considera usted el consumo de agua por parte de la comunidad minera Artesanal, es fuente principal de la contaminación de la quebrada Oscocachi?

- a. Si
b. No

Apéndice E. Fotografías**Figura 32.** Estación AA1**Figura 33.** Toma de muestra de agua en la Estación AA1



Figura 34. Estación AA2



Figura 35. Toma de muestra en la Estación AA2



Figura 36. Estación Aa1



Figura 37. Toma de muestra en la Estación Aa1



Figura 38. Estación Aa2



Figura 39. Punto de toma de muestra de la Estación Aa2



Figura 40. Alrededores de los puntos aguas arriba del río Oscocachi



Figura 41. Alrededores de los puntos aguas arriba del río Oscocachi



Figura 42. Alrededores de los puntos aguas arriba del río Oscocachi



Figura 43. Alrededores de los puntos aguas arriba del río Oscocachi



Figura 44. Alrededores de los puntos aguas arriba del río Oscocachi



Figura 45. Alrededores de los puntos aguas arriba del río Oscocachi



Figura 46. Aguas abajo del río Oscocachi



Figura 47. Aguas abajo del río Oscocachi



Figura 48. Confluencia del río Oscocachi con el río Ollachea



Figura 49. Zona de mezcla