



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO-PUNO

## ESCUELA DE POSGRADO

### DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



#### TESIS

### CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES MINEROS PARA EL MONITOREO AMBIENTAL DEL PROYECTO YANAORCCO - COMUNIDAD SAQUI – SINA - SAN ANTONIO DE PUTINA-PUNO-PERÚ

PRESENTADA POR:

RONALD QUIZA VILCA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2024



## RONALD QUIZA VILCA

### CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES MINEROS PARA EL MONITOREO AMBIENTAL DEL PROYECTO YANAORCCO - COM...

- 4.- CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE
- 4.- CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE
- Universidad Nacional del Altiplano

#### Detalles del documento

Identificador de la entrega  
trn:oid:::8254:507551770

Fecha de entrega  
3 oct 2025, 2:32 p.m. GMT-5

Fecha de descarga  
3 oct 2025, 2:40 p.m. GMT-5

Nombre del archivo  
CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES MINEROS PARA EL MONITOREO AMBIENTAL DEL PROYEC.....docx

Tamaño del archivo  
6.2 MB

90 páginas

20.203 palabras

116.872 caracteres

  
Dr. Pedro A. Edwin Gallegos Pasco  
DOCENTE





## 10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 8% Fuentes de Internet
- 7% Publicaciones
- 5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

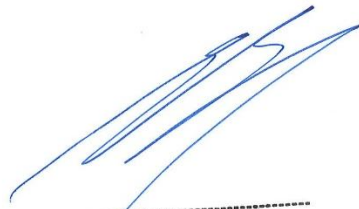
### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Dr. Pedro A. Edwin Gallegos Pasco  
DOCENTE





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**PROGRAMA DE DOCTORADO**  
**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

**TESIS**

**CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES MINEROS PARA EL MONITOREO  
AMBIENTAL DEL PROYECTO YANAORCCO - COMUNIDAD SAQUI –  
SINA - SAN ANTONIO DE PUTINA-PUNO-PERU**

**PRESENTADA POR:**

**RONALD QUIZA VILCA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**



APROBADA POR EL JURADO SIGUENTE:

PRESIDENTE

  
.....  
Dra. SOFIA LOURDES BENAVENTE FERNANDEZ

PRIMER MIEMBRO

  
.....  
D.Sc. HECTOR RAUL MACHACA CONDORI

SEGUNDO MIEMBRO

  
.....  
Dr. JUAN MAYHUA PALOMINO

ASESOR DE TESIS

  
.....  
D.Sc. PEDRO ALVALRO EDWIN GALLEGOS PASCO

Puno, 16 de julio de 2024

**ÁREA:** Ciencias de la ingeniería.

**LÍNEA:** Recursos Naturales y Medio Ambiente.

**SUB-LÍNEA:** Caracterización de los efluentes mineros para el monitoreo ambiental del proyecto Yanaorcco - Comunidad Saqui – Sina - San Antonio de Putina-Puno-Perú.



## DEDICATORIA

A mi padre Marcelino Quiza Quispe y a mi madre Epifanía Vilca Mamani, quienes me inculcaron mis estudios, y ahora se encuentran en un lugar muy hermoso de donde siempre me estarán iluminando. ††

Así mismo mi familia que me apoyaron con mucho esfuerzo, Leonisa y a mi hijo William Albert.

*Ronald Quiza Vilca.*



## AGRADECIMIENTOS

Primero mi agradecimiento infinito a Dios por estar siempre conmigo, por no dejarme a pesar de mis equivocaciones y por cuidar siempre de mí y de mi familia y por todo lo que me ha dado.

Mi agradecimiento a los doctores de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, por las enseñanzas que nos impartieron durante mi formación en el doctorado.

Mis sinceros agradecimientos a Minera Cunuyo 2003 E.I.R.L., en especial al Ingeniero José Carlos Torres Benavente, a todo el personal que labora en la Empresa. Por su apoyo y permiso para la utilización de datos para la presente tesis.

Mi agradecimiento al Dr. Edwin Alvarado Pedro Gallegos Pasco por la revisión y las sugerencias brindadas durante el desarrollo de la investigación y por su apoyo constante.

Del mismo modo a las personas que de alguna manera contribuyeron a la culminación de la presente investigación.

***Ronald Quiza Vilca.***



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
ACRÓNIMOS	ix
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3

### CAPÍTULO I

#### REVISIÓN DE LITERATURA

1.1	Marco teórico	4
1.1.1	Geomorfología	4
1.1.2	Geología	5
1.1.3	Geología estructural	7
1.1.4	Paragénesis y zoneamiento	8
1.1.5	Pasivo ambiental minero	10
1.1.6	Caracterización	11
1.1.7	Drenaje ácido de roca (DAR)	13
1.1.8	Caracterización de materiales generadores de DAR	16
1.1.9	Límites máximos permisibles	17
1.1.10	Contaminación ambiental	18
1.1.11	Equilibrio ecológico	20
1.1.12	Estudio de impacto ambiental	20
1.1.13	Evaluación ambiental	23
1.1.14	Caracterización de efluentes mineros en el marco de la evaluación ambiental	24
1.1.15	Marco legal	27
1.2	Antecedentes	28
1.2.1	Internacionales	28



1.2.2	Nacionales	30
1.2.3	Locales	31

## **CAPÍTULO II**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1	Identificación del problema	33
2.2	Enunciados del problema	33
2.2.1	Problema general	33
2.2.2	Problemas específicos	34
2.3	Justificación	34
2.4	Objetivos	35
2.4.1	Objetivo general	35
2.4.2	Objetivos específicos	35
2.5	Hipótesis	35
2.5.1	Hipótesis general	35
2.5.2	Hipótesis específicas	35

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	Lugar de estudio	36
3.1.1	Ubicación del proyecto	36
3.1.2	Extensión de la concesión	37
3.1.3	Coordenadas UTM de los vértices de la concesión	37
3.1.4	Topografía y fisiografía	37
3.1.5	Clima y meteorología	38
3.1.6	Calidad del aire	43
3.1.7	Geomorfología	43
3.1.8	Geología regional	44
3.1.9	Geología local	44
3.1.10	Descripción del proyecto Yanaorcco	45
3.1.11	Método de minado	47
3.1.12	Voladura	47
3.1.13	Limpieza	47
3.1.14	Sostenimiento	48
3.1.15	Ventilación	48
3.2	Población	48



3.3	Muestra	48
3.4	Método de investigación	48
3.5	Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	49
3.5.1	Acopio de información	49
3.5.2	Trabajo de campo	49
3.5.3	Trabajo de gabinete	49
3.5.4	Método estadístico	50
<b>CAPÍTULO IV</b>		
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		
4.1	Resultados	51
4.1.1	Monitoreo ambiental	51
4.1.2	Exposición de resultados	53
4.2	Discusión	55
4.2.1	Discusión por parámetros	55
CONCLUSIONES		58
RECOMENDACIONES		59
BIBLIOGRAFÍA		60
ANEXOS		72



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Casos de DAR en Perú	14
2. Aportes internacionales y nacionales sobre el Estudio de Impacto Ambiental (EIA)	22
3. Parámetros clave en la caracterización de efluentes mineros para el monitoreo ambiental	25
4. Accesibilidad al proyecto	36
5. Coordenadas de la concesión Cunuyo 2003	37
6. Coordenadas de la concesión cunuyo 2003	37
7. Precipitación total mensual (mm) periodo (1980-2004), estación Ananea	38
8. Ubicación de la estación Ananea	39
9. Precipitación total mensual (mm), periodo (2004-2008), estación Cuyo Cuyo	40
10. Ubicación de la estación Cuyo Cuyo	40
11. Evaporación promedio mensual (mm), periodo (2002-2005), estación Ananea	41
12. Temperatura media mensual y anual °c, periodo (2002-2005), estación: Ananea	41
13. Humedad relativa promedio mensual (%), periodo (2002-2005), estación: Ananea	42
14. Valores de mineralogía	45
15. Reservas de mineral estimada	46
16. Labores subterráneas proyectadas	47
17. Ubicación de estaciones de monitoreo de agua	52
18. Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas	53



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Tomando muestras de agua bocamina PM 01	73
2. Tomando muestras de aguas arriba Río Cunuyo PM 02	73
3. Tomando muestras de aguas abajo del Río Cunuyo PM 03	74
4. Vista Del Río Cunuyo en el proyecto Yanaorcco	74



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Matriz de consistencia	72
2. Panel fotográfico	73
3. Documentos del laboratorio	75
4. Declaración jurada de autenticidad de tesis	76
5. Autorización de depósito de tesis en el Repositorio Institucional	77



## ACRÓNIMOS

COP's	: contaminantes orgánicos persistentes
DAM	: drenaje ácido de minas
DAR	: Drenaje ácido de roca
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental
LMP	: Límites Máximos Permisibles
SEM	: Microscopía electrónica de barrido
SST	: sólidos suspendidos totales
STS	: sólidos totales en suspensión
XRD	: Rayos X

## RESUMEN

El estudio se desarrolló en la concesión minera Cunuyo 2003, comunidad de Saqui, distrito de Sina, provincia de San Antonio de Putina, Puno, durante 2024. La zona, conformada por cuarcitas y pizarras de relieve abrupto, presenta alta vulnerabilidad a procesos de drenaje ácido y contaminación hídrica derivados de los efluentes mineros. El objetivo fue identificar los parámetros físico-químicos que determinan la calidad del agua en el área de influencia del proyecto Yanaorcco y verificar su cumplimiento frente a los Límites Máximos Permisibles establecidos por la normativa ambiental peruana. La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y diseño transversal. La población correspondió a los cuerpos de agua receptores, y la muestra incluyó tres estaciones de monitoreo (PM-01, PM-02 y PM-03). Se aplicó muestreo directo y análisis de laboratorio de parámetros físico-químicos y metales pesados, contrastados con el Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM. Los resultados mostraron que en PM-01 (bocamina Yanaorcco) el pH fue 5,2 y los sólidos suspendidos 70,09 mg/L, excediendo los límites normativos. En PM-02 (aguas arriba) y PM-03 (aguas abajo), el pH se mantuvo en 7,2 y 6,9 respectivamente, mientras que los sólidos en suspensión fueron de 18,3 mg/L y 20,6 mg/L, todos dentro de los rangos permitidos. No se detectaron excedencias en aceites, cianuro, arsénico, cadmio, cobre, hierro, plomo, mercurio ni zinc. Se concluye que la bocamina (PM-01) constituye la principal fuente de impacto ambiental, mientras que en los demás puntos la calidad del agua se mantuvo aceptable, requiriéndose medidas de mitigación específicas.

**Palabras clave:** ambiental, contaminación, efluentes, evaluación, geomorfología, hidroquímica, monitoreo.

## ABSTRACT

The study was carried out in the Cunuyo 2003 mining concession, located in the community of Saqui, Sina district, San Antonio de Putina province, Puno, during 2024. The area, composed of quartzites and slates with rugged relief, presents high vulnerability to acid drainage processes and water pollution derived from mining effluents. The objective was to identify the physicochemical parameters that determine water quality in the influence area of the Yanaorcco project and to verify their compliance with the Maximum Permissible Limits established by Peruvian environmental regulations. The research applied a quantitative approach, descriptive level, and cross-sectional design. The population corresponded to the receiving water bodies, and the sample included three monitoring stations (PM-01, PM-02, and PM-03). Direct sampling and laboratory analysis of physicochemical parameters and heavy metals were conducted, benchmarked against Supreme Decree No. 010-2010-MINAM. The results showed that at PM-01 (Yanaorcco adit), pH was 5.2 and suspended solids reached 70.09 mg/L, both exceeding regulatory limits. At PM-02 (upstream) and PM-03 (downstream), pH values were 7.2 and 6.9, respectively, while suspended solids were 18.3 mg/L and 20.6 mg/L, all within acceptable ranges. No exceedances were detected for oils, cyanide, arsenic, cadmium, copper, iron, lead, mercury, or zinc. It was concluded that the adit (PM-01) represents the main source of environmental impact, while in the other monitoring points water quality remained acceptable, requiring specific mitigation measures.

**Keywords:** assessment, contamination, effluents, environmental, geomorphology, hydrochemistry, monitoring.



Juan Marcos Aro Aro, Ph. D.  
Ing. AGROINDUSTRIAL  
C.I.P. N 52422

## INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad productiva que genera la mayor cantidad de divisas en el Perú. Aunque gran parte de la actividad minera se realiza en pequeña escala como medio de sustento para pequeños productores mineros y mineros artesanales, toda actividad minera está obligada a realizar un monitoreo de sus efluentes mineros para establecer el nivel de concentración o el grupo de elementos presentes en el efluente líquido, de manera que no representen riesgos significativos para la salud de las personas ni para el medio ambiente. En este contexto, se realiza la evaluación de la presencia de los efluentes mineros del proyecto Yanaorcco, Sina, San Antonio de Putina - Puno, con la finalidad de caracterizar e identificar elementos que generan impactos ambientales hacia la comunidad de Saqui.

Toda actividad minera debe realizar un monitoreo de sus efluentes mineros para establecer el nivel de concentración o el grupo de elementos presentes en el efluente líquido. El objetivo de este monitoreo es asegurar que los efluentes no representen riesgos significativos para la salud de las personas ni para el medio ambiente. El monitoreo de los efluentes mineros es una medida ambiental obligatoria para las actividades mineras y se realiza para evaluar la calidad del agua de los ríos, quebradas y lagunas del área de influencia. El monitoreo debe incluir áreas de influencia de los accesos de operación y circulación de equipos de mina, almacenamiento de residuos peligrosos, áreas de depósitos de residuos volátiles, áreas de tratamiento de aguas domésticas y cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociado con actividades mineras o conexas. Los resultados del monitoreo deben ser reportados a la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas. Además, se han establecido Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas, que se aplican a todas las

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1 Marco teórico

##### 1.1.1 Geomorfología

La geomorfología es la ciencia que se encarga del análisis de las formas del relieve terrestre, así como su origen, evolución y dinámica en relación con los procesos internos y externos que la modulan. Se sitúa en la confluencia de la geología y la geografía física, de ahí que se trate de un campo de estudio interdisciplinario capaz de explicar la estructura en la zona superficial del planeta. Lo que Aristizábal y Yokota (2006) indican es que la geomorfología aplicada merece especial atención para la interpretación de fenómenos como puede ser el caso de los deslizamientos, pues justamente permite acometer la relación entre la litología, la pendiente, y los procesos geodinámicos externos en territorios con alta vulnerabilidad.

Además, Carlotto et al. (2009) enfatizan que, ya a través de un proceso geodinámico externo y por agentes tales como el agua, la atmósfera o el hielo, es la erosión, el transporte y la acumulación de materiales lo que permite moldear y modificar el relieve. Así planteada, la geomorfología no solo está en condiciones de describir las formas del relieve, sino también les otorga legibilidad al explicar el pasado geológico y la historia de los procesos activos que las transforman.

En consonancia Barrantes et al. (2021) la dinámica geomorfológica se hace más activa con situaciones extremas, tales como los sismos, los cuales generan cambios drásticos en los sistemas hidrológicos o en la estabilidad de las laderas, así evidenciando la conexión existente entre factores endógenos y exógenos para confeccionar el relieve.

En el afán de enseñar, Calizaya Condori (2023) y, Gouveia et al. (2009) coinciden en manifestar que la geomorfología es una herramienta didáctica fundamental, dado que el estudiar las formas del relieve permite conocer la interacción entre los procesos naturales y las actividades humanas, lo que, para

ellos, permite la enseñanza de la geografía y su implementación en la planificación del territorio.

En último lugar, trabajos como el que realizaron Rodríguez-de la Rosa et al. (2018) amplían el campo de acción de la geomorfología en un sentido paleogeográfico al exponer que las huellas fósiles y las estructuras sedimentarias son los recursos con los que se reconstruyen los antiguos ambientes y se interpretan la historia geológica.

Por consiguiente, desde la geomorfología se presenta una concepción de la ciencia en la que, además de describir, explica y predice cómo va a comportarse el relieve, convirtiéndose en un importante insumo para la gestión de riesgos, la ordenación del territorio y, en última instancia, el conocimiento y la explicación del vínculo entre la naturaleza y la sociedad.

### **1.1.2 Geología**

La geología es una disciplina científica cuya materia de estudio de estudio es la Tierra en su estructura y composición e incluso en sus procesos geodinámicos internos y externos, y que a partir de este conocimiento permite entender la historia de la superficie terrestre y su relación con las condiciones ambientales y antrópicas. De la misma forma, en lo que respecta al Altiplano Peruano, se encuentran características singulares en lo registrado de las rocas Paleozoicas inferiores y formaciones que corresponden al Mesozoico y Cenozoico que a su vez han sido modeladas de forma continua en función de procesos tanto tectónicos como de geodinámica externa, de tal forma que a partir de dichos procesos han dado lugar a superficies de erosión e incluso han hecho que cumbres más elevadas pudiesen alinearse (Sánchez et al., 2004).

La litoestratigrafía de la zona está compuesta de diferentes unidades, entre las cuales están las calizas Ayavacas, las areniscas y conglomerados del Grupo Puno, las andesitas volcánicas del Grupo Tacaza y los depósitos volcánicos del Grupo Barroso. También están los depósitos cuaternarios compuestos de arenas limos y gravas inclusas, de forma frecuente, dentro de matrices limo-arcillosas y asociadas a quebradas; pero también a ríos. Estas secuencias son indicativas de una historia geológica compleja y también están asociadas con la dinámica

hidrológica de la región, así como los procesos de geomorfología y estabilidad de la misma (Ibarra Chipa et al., 2004).

La geodinámica externa tiene un protagonismo esencial en el desarrollo de la geodinámica andina. Los procesos de la erosión, la fluvioviajidad y los procesos gravitacionales no solo son responsables de la formación de la superficie de la puna, sino también originan condiciones de vulnerabilidad hacia las remociones en masa. En este sentido, Carlotto et al. (2009) afirmarán que la actividad tectónica, todos los agentes exógenos incluidos, es clave en la evolución del relieve y en la exponencia de las unidades litoestratigráficas.

Por el contrario, la actividad minera en el Altiplano plantea uno de los retos ambientales más importantes, pues el drenaje ácido de mina se considera uno de los problemas más críticos. Los estudios en Perú demuestran que la oxidación de los minerales sulfurados, los que quedan expuestos en relaves o desechos de mina; producen aguas ácidas con metales pesados que influyen de manera negativa sobre los ecosistemas locales (Santofimia et al., 2017).

Vriens et al. (2019) complementando las ideas aquí expuestas indicarán que el flujo de largo plazo de las aguas de mina en la zona de Minas como Antamina, revelará que los procesos geoquímicos derivados de la alteración de las rocas estarán también contribuyendo a una liberación sostenida de los contaminantes, los cuales representarían un peligro para los recursos hídricos y las comunidades vecinas.

Por el contrario, la geología aplicada será fundamental, debido a que permite obtener información para la planificación territorial, como para la gestión de los riesgos naturales y la mitigación de los impactos que produce la actividad minera. Las investigaciones geológicas enseguida reflejadas en el Altiplano hacen posible ubicar zonas inestables, estimar amenazas en función a deslizamientos de roca o microsismos, y determinar mecanismos para que la población y la infraestructura de riesgo sean menos vulnerables (Jaimes Salcedo y Gerardo Trelles Vásquez, 2021).

### 1.1.3 Geología estructural

La geología estructural conforma una de las ramas de la geología que conforman el estudio de las deformaciones y las estructuras de la corteza, como las fallas, los pliegues, las fracturas, y la relación que estas tienen con los procesos tectónicos en determinadas escalas regionales y locales. Las estructuras geológicas se originan principalmente por la interacción de fuerzas endógenas vinculadas al movimiento de las placas tectónicas que dan lugar, especialmente, en ámbitos de márgenes convergentes, tal y el caso de la Cordillera de los Andes (Ramos et al., 2009). Por lo tanto, la geología estructural se refiere a las deformaciones y estructuras de la corteza terrestre en función de la tectónica y la interacción de las placas en estos márgenes convergentes.

En la zona del Altiplano Peruano, el conjunto estructural está controlado por lineamientos regionales de rumbo andino que establecen la alineación de las estructuras locales, que corresponden a sistemas de fracturamientos y de fallas tensionales asociadas a un tectonismo compresivo de los Andes centrales. Estas interrupciones no solo incurren en discontinuidades de la corteza, sino que constituyen vías preferentes para el curso de fluidos hidrotermales, lo que encuentra su aspecto más importante en la concentración de los metales de interés económico (Sillitoe, 2010).

El estudio de la geología estructural en las actividades de exploración proporciona el contexto necesario para poder determinar ciertos dominios litológicos y estructurales donde se pueda esperar la existencia de concentraciones mineralógicas en depósitos de tipo pórfido, epitermales y skarn, todos ellos bien representados a lo largo de la franja metalogenética andina (Chiaradia, 2015). Según Richards (2015) la tectónica de placas ha favorecido el desarrollo de cinturones metalogenéticos al tenderán explicaciones sinérgicas que conducen a la existencia de yacimientos minerales en un contexto de deformación estructural y magmatismo.

Por el contrario, el modelo del cizallamiento forma parte del repertorio de la geología estructural al especificar de qué manera las rocas pueden responder a esfuerzos tangenciales dando como consecuencia deformaciones que pueden explicar el desarrollo de fallas y la distribución de vetas mineralizadas (Twiss y

Moore, 2007). Asimismo, los factores litológicos, tectónicos y erosionales cooperan en el modelamiento de la superficie terrestre: la litología determina la resistencia del material mientras que la tectónica establece discontinuidades y la erosión elimina y redistribuye el sedimento que más tarde puede dar lugar a las rocas sedimentarias (Piffner, 2020).

En resumen, la geología estructural no solo permite reconstruir la historia tectónica de un territorio, sino que se constituye en una herramienta de gran utilidad en la gestión de los recursos minerales, la evaluación de riesgos geológicos y la comprensión de los procesos que modelan los relieves.

#### **1.1.4 Paragénesis y zoneamiento**

La paragénesis consiste en la secuenciación temporal de la cristalización de los minerales en un yacimiento, la cual está condicionada por la evolución química de los fluidos hidrotermales. Tal y como explica Pirajno (1992), los minerales se precipitan en función de los cambios en temperatura, presión y composición del fluido, que da lugar a asociaciones minerales características de cada etapa. Así, la paragénesis se convierte en un registro de la historia geoquímica del sistema.

La zonación se relaciona con gradientes químicos y térmicos que se desarrollan en torno a los cuerpos intrusivos. Sillitoe (2010) considera que los depósitos tipo pórfido presentan halos concéntricos de alteración —potásicos, fílicos, argílicos y propilíticos— asociados a la disminución de la temperatura y al enriquecimiento diferencial de los elementos cupríferos como Cu, Mo, Pb y Zn. Esta zonación es la consecuencia de la redistribución de metales conforme varían las condiciones geoquímicas de los fluidos.

En el caso de los sistemas epitermales, la paragénesis es un reflejo de la sulfidación de los fluidos mineralizantes. Camprubí y Albinson (2007) apuntan que los depósitos de baja, intermedia y alta sulfuración se diferencian por la estabilidad de ciertos sulfuros --pirita, calcopirita, enargita o esfalerita-- cuya formación está en función de las fugacidades de azufre y oxígeno en el fluido hidrotermal, de manera que la clasificación epitermal, en este caso, tiene una base eminentemente química.

Asimismo, los controles estructurales también condicionan la evolución química de los sistemas hidrotermales. Hedenquist y Richards (1998) relatan que las fallas y fracturas permiten la circulación de fluidos con diferentes composiciones permitiendo la mezcla de soluciones magmáticas y meteóricas. Esto conduce a cambios bruscos en pH, eh y la salinidad los cuales controlan la paragénesis así como las asociaciones minerales que pueden estar presentes en un yacimiento.

En los depósitos de alta sulfidación, la química de los fluidos controla este último proceso. Henley y Berger (2011) defienden que la vaporización de vapor de origen magmático y la condensación de gases ácidos ( $so_2$ , hcl) son responsables de la producción de soluciones extremadamente corrosivas, que son las responsables de la alteración argílica avanzada y precipitación de minerales como enargita y covelina; Zhu et al. (2011) desarrollan este argumento para poder explicar las paragénesis que se dan en este tipo de yacimientos.

Los estudios de caso que se desarrollan en depósitos de pórfido confirman que existe una relación entre la zonación y la química de fluidos. Hajalilou y Aghazadeh (2016) bien explican la que en sistemas Cu–Au de Irán la salinidad de los fluidos, y el metal que los mismos transportan producen un zoneamiento espacial que pone de relieve enriquecimiento en Cu en el núcleo y la presencia de metales preciosos en la periferia de los mismos, lo cual se puede explicar como un arrojó de la evolución fisicoquímica en este tipo de sistemas hidrotermales (existen muchos ejemplos que pueden ser justificados a partir de esta manera de entender la realidad misma).

Berger y Henley (2011) enfatizan que los procesos magmático-hidrotermales en márgenes convergentes están constituidos por una serie de factores químicos (composición del magma y de los fluidos), tectónicos (fallas, fracturas) y térmicos (gradientes geotérmicos), los cuales determinan tanto la paragénesis mineral como la zonación; lo que hace de este binomio (paragénesis vs. zonación) unas de las herramientas fundamentales para poder explicar la formación de este tipo de yacimientos y que nos ayudará a entender los anteriores yacimientos de los Andes en este sentido.

### 1.1.5 Pasivo ambiental minero

Los pasivos ambientales mineros (PAM) en el Perú son legalmente establecidos mediante la Ley N.º 28271 como infraestructura, residuos, así como depósitos de actividades abandonadas que generan riesgos para la salud y el ambiente (Congreso de la República del Perú, 2004). Si bien la norma logra establecer definiciones nítidas para dicho tipo de pasivos, aún hay una importante discrepancia entre la legalidad y la efectiva implementación de las políticas de remediación, lo que pone de manifiesto las limitaciones del Estado para abordar la magnitud del problema.

Desde una perspectiva ambiental, los PAM son focos de contaminación crónica diseminados en territorios ya vulnerables. Younger et al. (2002) advierten que la liberación de metales pesados y sedimentos desde minas abandonadas afectan, desde hace tiempo, cierta biota y ciertas comunidades, propiciando procesos de degradación que rara vez son remediados. Esta situación pone de manifiesto la contradicción que existe entre la creciente tendencia de la minería a convertirse en un motor del desarrollo de las economías, dejando a su paso una sistemática desatención de sus costos ambientales.

Por todo el mundo, se reconoce que la minería actual sigue desarrollando escenarios que favorecen la situación de deuda ambiental. Seki et al. (2022) afirman que la compatibilidad entre minería y biodiversidad hoy en día no es suficiente, lo que hace continuar con la producción de efectos negativos que se perpetúan incluso más allá de lo que es su ciclo de vida productiva. De esta forma, por ello, los PAM no son simplemente legados del pasado, son formas contemporáneas de un modelo extractivo que cicatriza las esquelas de sus impactos.

A nivel técnico, el diagnóstico y tratamiento de PAM presenta limitaciones estructurales. Orihuela et al. (2021) destacan que la dispersión geográfica y tipológica de los pasivos se ve agravada por una falta de información geológica y geoquímica fiable, lo que dificulta la planificación de acciones de remediación. A esta situación se le suma el hecho de que, en muchas ocasiones, derivar cualquier responsabilidad a empresas sucesoras, o bien al propio Estado,

se torna en un proceso judicial y administrativo largo que añade el sufrimiento por el riesgo ambiental que sufre la población.

Las propuestas más contemporáneas abogan por replantear el enfoque. Quispe Quispe (2024) argumentan que si se introdujeran principios de economía circular y técnicas limpias permitirían transformar algunos residuos en recursos aprovechables. Sin embargo, este argumento debe afrontar el obstáculo de destrabarse de ciertas resistencias institucionales, como la falta de incentivos reales para que empresas y el Estado asuman compromisos de sostenibilidad más allá de la remediación puntual.

Por último, desde un enfoque de gobernanza, Shanmukha et al. (2024), plantean que la gestión de los PAM requiere un abordaje inter y transdisciplinario, donde Estado, empresas y poblaciones confluyan. Sin embargo, como muestra la experiencia peruana, la participación social es todavía escasa y los procesos de consulta o de diálogo no necesariamente se traducen en decisiones vinculantes. Lo que evidencian es la existencia de un déficit democrático en la gestión de la herencia minera y confirma que los PAM conforman no sólo un problema ambiental, sino también un síntoma de desigualdad y de debilidad institucional.

### **1.1.6 Caracterización**

La caracterización representa una de las etapas fundamentales en la propuesta de investigación científica puesto que significa el conocimiento y la descripción de forma sistemática y finalista de los elementos que constituyen el objeto de estudio. Desde una perspectiva metodológica se configura como una fase de carácter descriptivo que puede abarcar elementos cualitativos con elementos cuantitativos orientada a la ordenación y a la construcción de significados que expliquen con rigor los fenómenos a los que se hace referencia (Martínez Carazo, 2006). En este sentido se enfatiza el carácter que tiene la caracterización como instrumento que va más allá de lo meramente descriptivo e implica un procedimiento de interpretación crítica de la realidad.

La caracterización en el contexto de las prácticas de la geología económica es importante y crucial para la determinación de la paragénesis, esto es, el orden

de aparición en el tiempo de los minerales de las que disponga un determinado depósito.

Pirajno (1992) apunta que el análisis de la paragénesis presenta la evolución geoquímica de los fluidos mineralizantes, la zonación presenta su distribución espacial en función de gradientes de temperatura, presión y composición, es decir, la paragénesis y la zonación representan la estrategia metodológica del estudio de yacimientos. Por su parte, la geología estructural aporta al estudio de la caracterización analizando cómo fallas, pliegues y sistemas tectónicos determinan la manera en que los dominios litológicos y los concentrados de recursos minerales se distribuyen.

Ramos (2009) concluye que en los Andes los lineamientos de gran escala y las estructuras diacrónicas determinan la evolución orogénica y explican la localización de franjas metalogénicas, por lo que la caracterización estructural es indispensable en el estudio de los depósitos andinos. En términos instrumentales la caracterización moderna exige técnicas analíticas de alta precisión. Goldstein et al. (2018) determinan que la microscopía electrónica de barrido (SEM) y la difracción de rayos X (XRD) resultan valiosas en la identificación de las fases minerales, las microtexturas y las composiciones químicas en los grupos de yacimientos mineralógicos. Estas metodologías permiten descripciones precisas y de detalle que no podrían ser alcanzadas a partir de la sola observación a escalas macroscópicas, aportando información útil para establecer correlaciones mineralógicas y estructurales.

La caracterización crítica de yacimientos apoyándose en el reconocimiento de modelos genéticos. Sillitoe (2010) argumentaba que los sistemas pórfido son caracterizados por patrones paragenéticos y zonales recurrentes determinando asociaciones minerales concretas, así como halos de alteración hidrotermal asociados. Esta caracterización sistemática permite reconstruir la historia evolutiva del depósito y del mismo modo orientar la búsqueda de minerales estratégicos en nuevas extensiones.

Por otra parte, la caracterización debe ser entendida como un proceso holístico que articula los datos empíricos con los marcos conceptuales asociados. Tal y como determinan autores clásicos a la hora de aventurarse en el campo de

la investigación científica (Martínez, 2011), la caracterización es el paso intermedio entre la observación empírica y las explicaciones teóricas del objeto de estudio, no es por lo tanto sólo un ejercicio técnico. La caracterización se convierte en el proceso crítico que orienta la generación del conocimiento y la toma de decisiones en exploración, explotación y gestión ambiental minera.

### **1.1.7 Drenaje ácido de roca (DAR)**

El drenaje ácido de roca (DAR), o drenaje ácido de mina (DAM), constituye uno de los problemas ambientales de carácter más dramático y severo asociado a la minería. El drenaje ácido de roca se genera cuando minerales sulfurados, como la pirita y la pirrotita, principalmente, afloran a la superficie, de manera que pueden entrar en contacto con oxígeno y agua, lo que además da lugar a reacciones de oxidación que acaban por generar soluciones ácidas altamente contaminadas con metales pesados. Las actividades de algunos microorganismos acidófilos aceleran la velocidad del proceso, lo que explica por qué el DAR es, y continúa siendo, asociado a minas activas o abandonadas en todo el orbe (Santofimia et al., 2017).

El DAR presenta impactos directos en ecosistemas y poblaciones porque contamina acuíferos y cuerpos de agua superficial. Los estudios realizados en Cajamarca (Perú) revelan como en aguas con un pH de 3,4 pueden crecer comunidades microbianas acidófilas y mantener disueltas grandes concentraciones de metales (arsénico, cadmio, cobre, zinc), lo que da muestra de la dificultad de la restauración natural de sistemas afectados (Valdez-Nuñez et al., 2022).

Dentro de las estrategias de mitigación encontramos los humedales construidos como una alternativa pasiva y de bajo coste; sistemas en los que se puede controlar el pH y eliminar metales mediante procesos biogeoquímicos. Existe experiencia en América Latina donde los humedales ofrecen un potencial como sencillos sistemas, pero cuya eficacia depende del diseño hidráulico, de las especies vegetales a utilizar y de la composición química del DAR (Rodríguez-Dominguez et al., 2020).

En el Perú, han sido desarrollados proyectos en los Andes de Ancash que han utilizado humedales de equilibrio hídrico a pequeña escala como solución potencial para regular el pH, para eliminar hierro, sulfatos y metales pesados de aguas perdidas en pasivos ambientales mineros, en virtud del uso de enmiendas orgánicas (compost y estiércol), que han probado ser también una forma de potenciar la remediación (León Menacho et al., 2022).

Por otro lado, hoy por hoy la caracterización química de los drenajes ácidos vuelven necesario el estudio de diferentes soluciones en el marco de la optimización de la solución utilizada. En Hualgayoc, por ejemplo, se ha documentado que el uso de enmiendas como el biochar y el compost, junto a las plantas nativas, han logrado eliminar metales como As, Cd, Cu y Zn, aunque esta performance se define en función de la composición del agua inicial y del tiempo de retención del agua en las unidades de tratamiento (Nuñez-Bustamante et al., 2025).

Por último, la gestión del DAR en el Perú refleja las tensiones entre las exigencias técnicas y las limitaciones funcionales. La gestión del DAR en Cerro de Pasco, por ejemplo, hace evidente que la persistencia del drenaje ácido no es únicamente un problema de carácter ambiental, sino que se le suma el sentido de un problema social de salud pública ante la ausencia de recursos, de un control de la legalidad y de participación comunitaria en la gestión que atenúe, a lo menos en parte, la efectividad de la gestión de remediación (Piñeiro et al., 2021).

**Tabla 1**

*Casos de DAR en Perú*

Caso	pH	Metales principales	Estrategia aplicada
Pastoruri (Ancash)	~2,5 – 3,0	Fe, Al, Mn, Zn	Caracterización hidrogeoquímica (Santofimia et al., 2017)
Hualgayoc (Cajamarca)	3,4	As, Cd, Cu, Zn	Evaluación microbiana y enmiendas orgánicas (Nuñez-Bustamante et al., 2025; Valdez-Nuñez et al., 2022)
Ancash (Humedales)	4,5 – 6,0	Fe, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Zn, Pb	Humedales construidos con compost y estiércol (León Menacho et al., 2022)
Cerro de Pasco (persistente)	<3	Pb, Zn, Fe, As	Evidencia de contaminación crónica y exposición humana a metales (Dold, 2008; Piñeiro et al., 2021)

La comparación de los casos de drenaje ácido de roca (DAR) en las diversas regiones del Perú pone de manifiesto tanto los patrones comunes como las particularidades de los distintos lugares que explican la complejidad de la gestión. En el caso del Nevado Pastoruri (Ancash), los trabajos de Santofimia et al. (2017) constatan la intensidad del fenómeno al mostrar valores de pH muy bajos (2,5 – 3,0) con elevadas concentraciones de hierro, aluminio, manganeso y zinc. Este caso muestra cómo la exposición de los sulfuros en zonas de alta montaña puede causar un impacto en las nacientes y los cuerpos de agua glaciares y persistente.

Por su parte, en el caso de Hualgayoc (Cajamarca), Valdez-Nuñez et al. (2022) y Nuñez-Bustamante et al. (2025) muestran la existencia de comunidades microbianas acidófilas que perpetúan las condiciones de acidez (pH cercano al 3.4), manteniendo niveles elevados de arsénico, cadmio, cobre y zinc. Aquí tiene una imagen en donde se ejemplifica que, más allá de la química inorgánica, la biología microbiana es un factor clave para la persistencia del DAR lo que permite también abrir el campo de un estudio que, en las últimas décadas, ha ido girando hacia lo que podrían ser enfoques bio-geoquímicos integrados.

El estudio de Ancash (humedales construidos) es una experiencia relevante en cuanto a mitigación. León Menacho et al. (2022) describen el uso de humedales de pequeña escala, con la adición de compost y estiércol, un aumento en los niveles de pH a niveles más cercanos a la neutralidad (4,5 – 6,0) y la reducción de las concentraciones de metales y sulfatos. Este resultado da cuenta de que los tratamientos pasivos pueden ser una alternativa costo-efectiva, especialmente para lugares con presupuestos locales bastante reducidos.

En Cerro de Pasco, Piñeiro et al. (2021) evidencian la permanencia de pH ácido ( $< 3$ ) y niveles altos de Pb, Zn, Fe y As en suelos y agua, con daños claros en la salud de la niñez, en concreto en la bioacumulación de plomo. Añadir que a esto se agrega la mala gestión de pasivos ambientales mineros relativa a actuaciones descritas en Dold (2008). Este hecho demuestra que el DAR es, además de un problema geoquímico, un hecho social y de salud pública más allá del mero hecho minero.

Totalmente, los ejemplos expuestos hacen ver que el DAR en Perú es un fenómeno multifactorial que demanda una caracterización fisicoquímica y biológica, una prevención desde lo operativo y alternativas de remediación adaptada a la realidad del contexto. Cortejando esta idea, los costos ambientales y sociales seguirán siendo trasladados a las comunidades andinas más vulnerables.

### **1.1.8 Caracterización de materiales generadores de DAR**

El análisis de materiales generadores del drenaje ácido de roca (DAR) es un aspecto fundamental de la gestión de los residuos derivados de actividades mineras, particularmente en el caso de las minas inactivas o abandonadas, puesto que permite anticipar el riesgo de acidificación y el riesgo de liberación de metales pesados. Esta forma de análisis de los residuos no debe limitarse a una mera descripción de sus características, sino integrar el análisis físico, químico, mineralógico y microbiológico para que permita prever la magnitud y la persistencia del DAR así como proponer las oportunas medidas de prevención (Verburg et al., 2009).

En el campo mineralógico, la presencia de sulfuros tales como la pirita, la pirrotita o la arsenopirita son las que determinan el potencial de generación de acidez. Se identifican empleando técnicas sofisticadas como la difracción de rayos X (XRD) y la microscopía electrónica de barrido (SEM), las cuales permiten reconocer las fases minerales y microestructuras implicadas en los procesos oxidativos y en la liberación de contaminantes (Goldstein et al., 2018) aportando un nivel de detalle importante para poder relacionar las características mineralógicas con la generación ácida.

Por su parte, la caracterización geoquímica complementa dicha caracterización con pruebas del tipo Acid Base Accounting (ABA) y ensayos cinéticos de lixiviación en columna, las cuales cuantifican la capacidad neutralizante de los residuos y la velocidad de generación ácida. Estas son metodologías de trabajo que se utilizan de forma habitual en los programas de cierre y post-cierre y que constituyen herramientas predictivas para reducir la incertidumbre y ayudar en la selección de las estrategias de control y remediación de los pasivos ambientales (Verburg et al., 2009).

Finalmente, el componente microbiológico es importante, ya que las bacterias acidófilas, como *Acidithiobacillus ferrooxidans*, aceleran las oxidaciones de los sulfuros y prolongan la persistencia de los derivados de la acidificación. Johnson y Hallberg (2005) ponen de manifiesto que la incorporación de estudios bacteriológicos dentro del planteamiento de la caracterización permite el entendimiento del comportamiento de los procesos biogeoquímicos, resulta incluso muy interesante en ambientes andinos, donde los factores climáticos extremos fomentan aún más la actividad microbiana.

En resumen, la caracterización de los residuos de actividades mineras se tiene que entender como un planteamiento preventivo razonado que puede aglutinar dimensiones mineralógicas, químicas y biológicas, permitiendo así predecir no sólo el DAR, sino también permitir el diseño de un plan de manejo más efectivo de tipo ambiental. La caracterización integral es la base que permite poder aminorar la incertidumbre, prevenir pasivos ambientales y promover unas prácticas de minería ambientalmente sostenible (Lottermoser, 2010).

### **1.1.9 Límites máximos permisibles**

Los Límites Máximos Permisibles (LMP) no deben ser vistos solamente como parámetros de salud, sino que tienen también el carácter de instrumentos regulatorios, porque éstos fijaron umbrales como formas de evitar que las emisiones o efluentes de actividades productivas generen riesgos más que significativos en la salud y los ecosistemas (Dash et al., 2024). Según los autores, los Límites Máximos Permisibles no solamente midieron concentraciones, también son formas de gobernanza ambiental por la situación de deterioro ecológico.

Aldy et al. (2021) afirmaron que la obligatoriedad de los límites máximos permisibles y su correspondiente control por las autoridades competentes, representadas en este caso por el Ministerio del Ambiente peruano, reflejaron la necesidad que deben tener las políticas públicas. Por su parte, los mismos autores apuntaron que la eficacia de las regulaciones está basada en la capacidad institucional y en la transparencia en la gestión ambiental, lo cual continúa siendo un reto en los países en desarrollo.

Steinacher et al. (2013) indicaron la existencia de límites normativos diferenciados, como los Límites Máximos Permisibles (LMP) para las descargas y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para los cuerpos receptores, por la necesidad de regulación multiescalar, si bien, indicaron que definir más de un objetivo ambiental tiende a reducir el LMP de las descargas, lo que exige una regulación más estricta, aspecto que cobra especial relevancia en el Perú, donde las industrias extractivas presionan a la gestión ambiental.

En el sector minero andino, Custodio et al. (2020) indicaron que las aguas contaminadas por metales pesados y arsénico superaron en varios casos los límites normativos; lo cual genera riesgos para las poblaciones rurales, no obstante, los resultados evidencian las limitaciones en la aplicación de los LMP en los territorios, donde los sistemas de monitoreo son limitados, donde la gestión de los impactos socioambientales no es cubierta.

Finalmente, Choque-Quispe et al. (2021) reportaron que la calidad del agua destinada al consumo humano en las comunidades altoandinas no cumplía con los LMP ni los ECA. Los autores indicaron que existen no solo fallas técnicas, sino que también existe como un proceso de desigualdades estructurales en el acceso a agua segura convirtiendo los LMP en una de las evidencias de la justicia ambiental.

### **1.1.10 Contaminación ambiental**

La contaminación ambiental es el resultado de la presencia de agentes físicos, químicos o biológicos en el ambiente, en ciertas formas o concentraciones que amenazan la salud de las personas y de los ecosistemas, así como el bienestar general. Manisalidis et al. (2020) alertan que los contaminantes, bien sean sólidos, líquidos o gaseosos, influyen negativamente en la calidad del aire, de las aguas y de los suelos al limitar la sostenibilidad ecológica. En la misma línea, Landrigan et al. (2018) explican que la contaminación es la primera causa ambiental de enfermedad y de mortalidad en las naciones con ingresos bajos y medios, y en particular la exposición a partículas finas, plomo y arsénico.

Igualmente, Fuller et al. (2022) afirman que el ozono, las partículas de PM<sub>2.5</sub> y los óxidos de nitrógeno y de azufre no solo afectan a la salud de las

personas, sino que también limitan el respeto a los ecosistemas terrestres y acuáticos, dejando entrever la naturaleza multidimensional del problema. Desde la perspectiva química y toxicológica, Shetty et al. (2023) destacan que los contaminantes producidos por el ser humano tienen efectos acumulativos que deterioran la calidad ambiental y producen un incremento de la enfermedad asociada a la exposición. Del mismo modo, Awewomom et al. (2024) sostienen que la contaminación debe ser entendida en toda su magnitud: contaminación del aire, del agua, del suelo y la contaminación acústica, lo que nos obliga a implementar políticas de prevención y sistemas regulatorios más estrictos.

Alternativamente, Dash et al. (2024) defienden que las innovaciones verdes y la gobernanza del medioambiente son cruciales para controlar las emisiones a nivel global, sobre lo que se hace necesario implementar mecanismos de control como los Límites Máximos Permisibles (LMP). Por su parte, Steinacher et al. (2013) suman a un enfoque concurrente demostrando que la existencia de más de un objetivo ambiental internacional reduce el margen de emisiones permisibles obligando en los países a una constante revisión de los límites permitidos.

Desde la perspectiva del Perú, los estudios han mostrado brechas relevantes entre los estándares regulatorios y los contextos sociales y medioambientales, lo que en parte justifica las luchas sociales por defender el acceso al agua. De hecho, Custodio et al. (2020) mostraron que en los ríos de la región andina central expuestos a la minería, las concentraciones de arsénico y metales pesados fueron muy superiores a los valores establecidos por los LMP, siendo eso una amenaza, un riesgo para la salud de las comunidades.

De manera concomitante, Choque-Quispe et al. (2021) demostraron que, en varias comunidades altoandinas, el agua destinada para el consumo humano no cumplía ni con los LMP ni con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), lo que a su vez revelaba desigualdades estructurales entre el acceso a agua segura. Todo ello alimenta la idea de que la contaminación ambiental en el Perú es un fenómeno no solo técnico sino social, donde la gestión normativa debe ir de la mano de las políticas de justicia ambiental para asegurar sostenibilidad y equidad.

### 1.1.11 Equilibrio ecológico

El equilibrio ecológico ha sido definido a lo largo de la historia como un estado de estabilidad biológica (cualquier condición donde las especies coexisten en sintonía con su medio) en el que las interacciones biológicas de los elementos de los ecosistemas (productores, consumidores, descomponedores, suelo, agua, aire, etc.) son tales que predominan características de los mismos a lo largo del tiempo; pero hoy la crítica destaca que el equilibrio ecológico está sujeto a múltiples reinterpretaciones. Van Meerbeek et al. (2021) presentan un modelo que integran la estabilidad y la resiliencia y concluyen que los ecosistemas difícilmente retornan a un “equilibrio” estable después de perturbaciones; en cambio, las trayectorias de los ecosistemas son dinámicas y dependen del tamaño y de la frecuencia de las perturbaciones.

Dougoud et al. (2018) muestran que en ecosistemas con alta diversidad de especies la factibilidad del “equilibrio” (abundancias positivas para todas las especies) es cada vez menor a medida que la complejidad del sistema aumenta. Oro y Martínez-Abraín (2023) argumentan que los argumentos en pro de modelos de equilibrio ecológico pueden ser contrariados en la decisión de conservación pues el equilibrio ecológico ignora que muchos ecosistemas funcionan en un estado de no-equilibrio como respuesta adaptativa al continuo cambio ambiental.

Chen et al. (2024) explican teorías en torno a la estabilidad ecológica que argumentan que la topología de la red, interacciones de orden superior y los desfases en las respuestas de los ecosistemas pueden tener un profundo efecto en el comportamiento de los ecosistemas en términos de equilibrio. En conclusión, aunque el equilibrio ecológico pueda y deba identificarse como un buen enfoque conceptual práctico, este se señala como una modelo de equilibrio ideal que difícilmente se puede aplicar a los ecosistemas naturales perturbados por el tiempo y por el hombre.

### 1.1.12 Estudio de impacto ambiental

El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) se ha convertido en un recurso preventivo básico para la gestión ambiental actual del planeta. A nivel internacional, Bond et al. (2020) indican que su esencia no es solo técnica, sino

política, porque las decisiones finales pueden estar sujetas a intereses económicos y sociales. Nakamura et al. (2022) entroncan esta visión al poner de manifiesto que los estándares internacionales marcan que los EIA deben contener, no solo los efectos físicos y biológicos que los afectan, sino los efectos sociales, culturales y económicos del mismo. Fuller et al. (2022) apuntan que los EIA pueden convertirse en un recurso básico para disminuir los impactos de la contaminación sobre la salud humana y sobre la biodiversidad, siempre que sean acompañados de mecanismos de seguimiento que garanticen su implementación.

En la realidad peruana, Hurtado et al. (2024) presentan resultados que muestran que los Estudios de Impacto Ambiental asociados a las diferentes alternativas en los proyectos indudablemente tienden a subestimar el tamaño de los impactos generados, lo que pone en entredicho la confiabilidad de este tipo de instrumentos en el proceso de toma de decisiones. En el mismo sentido, Biehl et al. (2019) presentaron resultados que demuestran que, aunque el país andino ha dado pasos importantes en la adopción de la Evaluación Ambiental Estratégica, persisten debilidades institucionales y sectoriales que repercuten en la eficacia de los EIA.

Entre la realidad y la normativa explícita, Pariona-Luque et al. (2023) han encontrado que, en el sector turístico de Ayacucho, los planes de gestión ambiental, fruto de la instrumentación de los EIA, tienden a hacerse de manera incompleta o a carecer de seguimiento, lo que habla de la brecha existente entre la normativa formal y su implementación tal como debería hacerse. Así, como resulta de este cuerpo de hallazgos, el EIA debería estar regularizado por la Ley General del Ambiente en el marco de un instrumento preventivo, pero su efectividad, incluso, dependerá de la capacidad institucional, de las condiciones formales del proceso, de la transparencia de los mismos y de la participación ciudadana.

**Tabla 2**

*Aportes internacionales y nacionales sobre el Estudio de Impacto Ambiental (EIA)*

Autor(es)	Aporte principal	Relevancia para el Perú
Bond et al. (2020)	El EIA tiene una naturaleza política además de técnica; las decisiones están influenciadas por intereses económicos y sociales.	Advierte que en el Perú las decisiones ambientales pueden estar condicionadas por presiones políticas o empresariales.
Nakamura et al. (2022)	Los EIA deben integrar impactos físicos, biológicos, sociales, culturales y económicos de manera holística.	Refuerza la necesidad de que los EIA peruanos sean integrales y no se limiten a aspectos físico-ambientales.
Fuller et al. (2022)	Los EIA son clave para mitigar contaminación y proteger salud y biodiversidad, pero requieren seguimiento efectivo.	Recalca la importancia de implementar mecanismos de monitoreo post-EIA en proyectos peruanos.
Hurtado et al. (2024)	Los EIA en Perú subestiman la magnitud de los impactos ambientales, reduciendo su utilidad en la toma de decisiones.	Evidencia brechas de calidad en los EIA nacionales, lo que afecta la credibilidad del sistema de certificación.
Biehl et al. (2019)	Analiza la Evaluación Ambiental Estratégica en Perú; existen avances normativos, pero persisten debilidades institucionales.	Señala la necesidad de fortalecer la capacidad institucional y sectorial para aplicar EIAs efectivos.
Pariona-Luque et al. (2023)	Los planes de gestión ambiental derivados de los EIA en empresas turísticas se implementan de manera parcial o deficiente.	Refleja la brecha entre la normativa formal y la práctica real de los EIA en regiones peruanas.

En términos generales, los aportes tanto internacionales como nacionales coinciden en señalar que el EIA es el procedimiento por excelencia que propicia los procesos de toma de decisiones ambientales; aunque también coinciden en advertir que dicho potencial queda limitado por la falta de integralidad en sus evaluaciones, por la insuficiencia de controles y por las presiones políticas y económicas que representan un condicionante (la normatividad, la calidad formal del proceso y las condiciones que permitan asegurar el empoderamiento ciudadano son una exigencia en este contexto), pues el reforzamiento normativo, el reforzamiento de los mecanismos de control y la posibilidad de asegurar la

participación social son ejecutados desde el EIA como mecanismos de gestión ambiental.

### 1.1.13 Evaluación ambiental

La evaluación ambiental supone un procedimiento técnico-administrativo de carácter preventivo, cuyo objetivo específico es asegurar que los proyectos considerados sean ambientalmente viables y sostenibles. Joseph (2015) manifiesta que este instrumento se ha consolidado en un auténtico baluarte de la gestión ambiental, dado que sirve tanto para la incorporación de una perspectiva distinta a la planificación de las decisiones como para la identificación anticipada de los posibles impactos. Desde una óptica global, Dusík et al. (2022) añaden que la evaluación ambiental es un instrumento privilegiado para la defensa del desarrollo sostenible, pero alertan en el mismo sentido que en muchas jurisdicciones, sus efectos reales en las decisiones finales son débiles debido a las debilidades institucionales y a la falta de concretar las medidas que se recomiendan. Kamiyo (2022) complementa la observación de que los sistemas de evaluación ambiental de los países en desarrollo tienden a degenerar en formalismos si no se complementan y enriquecen con procesos de monitoreo en el tiempo y con mecanismos de verificación posteriores.

La evaluación ambiental, en el caso peruano, donde la minería está considerada un sector estratégico, aunque altamente contaminante, adquiere connotaciones de primordial relevancia en la caracterización de efluentes mineros en el marco del monitoreo ambiental. Hurtado (2024), como ejemplo, demuestra que muchos estudios de impacto ambiental subestiman los efectos negativos de los proyectos extractivos, arriesgando así la credibilidad de dicho instrumento. Espinoza Ortiz, Jiménez Peña, Páez Warton, Evangelista Vargas, Salas Delgado, Ramos Guillén y Natividad (2021) sugieren que la efectividad del sistema depende de seis dimensiones (normativa, participativa, organizacional, transaccional, procedimental, y sustantiva), en donde todas son necesarias para poder introducir procesos como los de la caracterización físico-química y microbiológica de los efluentes mineros en estudios ambientales. Complementariamente, Rojas-Bardalez, Cáceres-Bardalez, Julca-Urquiza y Guerra-Saldaña (2022) demuestran que, en ciertas regiones amazónicas del Perú,

episodios de descarga industrial inciden en la calidad del aire y la calidad del agua, confirmando la necesidad de que se incluyan los parámetros de emisiones y efluentes en los EIA. Finalmente, Pariona-Luque, Pacheco, Ccama, Reyes y Lema (2023) sostienen que, aunque las gestiones incluyen los planes de gestión ambiental para los sectores productivos (por ejemplo, el turístico), la implementación no suele ser integral, lo que puede reflejar las brechas de cumplimiento evidenciadas también por los proyectos mineros.

En conclusión, la literatura internacional y la literatura nacional coinciden en que la evaluación ambiental es un instrumento esencial para la gestión sostenible, pero su efectividad depende del rigor con el que se caracterizan y analizan efluentes mineros para el adecuado desarrollo de los monitoreos ambientales, de la capacidad institucional de supervisión y del compromiso de los titulares de los proyectos para implementar las medidas de prevención, mitigación y compensación.

#### **1.1.14 Caracterización de efluentes mineros en el marco de la evaluación ambiental**

La caracterización de los efluentes mineros se erige como un paso fundamental en los procedimientos de evaluación ambiental, ya que ello permite identificar la composición físico-química y mineralógica y microbiológica de las descargas que de la actividad extractiva se generan. En opinión de Joseph et al. (2015) la calidad de la evaluación ambiental depende de la identificación de contaminantes en etapas del procedimiento que sean lo antes posible; es decir, se logra recabar una idónea para poder plantear medidas preventivas y correctoras antes de acometer el proyecto.

Dusík y Bond (2022) registran la incorporación de parámetros de calidad del agua y de emisiones líquidas en los estudios ambientales si quiere garantizar que las decisiones de inversión no perjudiquen la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos. Siguiendo en esta misma dirección, Kamijo (2022) mencionó que la falta de un control sistemático de los efluentes coarta el valor de las evaluaciones de impacto ambiental, ya que las acciones de reducción de los impactos de las actividades mineras quedan como un mero ejercicio burocrático de la evaluación

de impacto ambiental a pesar de que el Estado garantice recursos suficientes para ello.

Y es que, en el Perú, donde la minería aparece como una de las actividades económicas más importantes pero que, a la vez, genera pasivos ambientales, la caracterización de efluentes resulta particularmente importante. Hurtado et al. (2024) indican que los informes de impacto ambiental suelen resultar conservadores en cuanto los efectos de descargas mineras vertidas en el ambiente, limitando la capacidad del Estado de realizar un diagnóstico más adecuado a la hora de tomar decisiones.

Por su parte, Rojas-Bardalez et al. (2022) comprobaron que la actividad industrial en las regiones amazónicas del Perú tiene una influencia directa sobre la calidad del aire y del agua, lo que evidenció la necesidad de una mejora en los protocolos de control de parámetros constitutivos como los metales pesados y el material particulado dentro de la evaluación de impacto ambiental. En otro orden de ideas, Espinoza Ortiz et al. (2021) recalcan cuán importante es incorporar dimensiones tanto sustantivas como de procedimentales para que la evaluación ambiental de las actividades mineras sea efectiva, es decir, que no se limite sólo a la caracterización de efluentes, sino que también existe la posibilidad de que los resultados tengan efectos vinculantes para el Estado en la gestión y fiscalización de la actividad extractiva.

### Tabla 3

*Parámetros clave en la caracterización de efluentes mineros para el monitoreo ambiental*

Parámetro	Unidad de medida	Relevancia ambiental	Normativa/Referencia
pH	Escala (0–14)	Permite identificar condiciones ácidas o alcalinas; niveles bajos están asociados al drenaje ácido de roca (DAR).	MINAM (2017) (ECA-agua, Perú) – LMP minería
Conductividad eléctrica	µS/cm	Indica la presencia de sales disueltas; un incremento refleja contaminación por descargas mineras.	Custodio et al. (2020)
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	Afectan la turbidez y reducen la penetración de luz en cuerpos de agua, dañando ecosistemas acuáticos.	Choque-Quispe et al. (2021)
Metales pesados (As, Pb, Cd, Hg)	mg/L	Tóxicos bioacumulables; afectan salud humana y biodiversidad.	Hurtado et al. (2024)

Parámetro	Unidad de medida	Relevancia ambiental	Normativa/Referencia
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	Producto común de la oxidación de sulfuros en minas; indicador de drenaje ácido.	Rojas-Bardalez et al. (2022)
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	Refleja la capacidad del agua para sustentar vida acuática; disminuye con materia orgánica y descargas mineras.	Espinoza Ortiz et al. (2021)

La caracterización de los efluentes mineros dentro del marco de la evaluación ambiental exige la cuantificación de parámetros físico-químicos o biológicos, cuya determinación permite establecer los potenciales riesgos ambientales. El pH, por su parte, es un indicador fundamental ya que unos valores muy bajos reflejan unas condiciones propicias para desencadenar un drenaje ácido de roca que acabe alterando la calidad de los cuerpos de agua receptores (MINAM, 2017). La conductividad eléctrica, como parámetro indirecto de la concentración de las sales disueltas, se eleva debido a las descargas mineras (Custodio et al., 2020).

Los sólidos suspendidos totales aumentan los niveles de turbidez y afectan la disponibilidad de luz de los organismos acuáticos constituyendo un factor crítico para los ecosistemas altoandinos (Choque-Quispe et al., 2021). Asimismo, los metales pesados como el arsénico, el plomo, el cadmio y el mercurio tienen efectos bioacumulativos con consecuencias muy graves para el ser humano y la vida biosférica (Hurtado et al., 2024).

Los sulfatos, en cambio, son productos bastante típicos de la oxidación de los sulfuros en las actividades mineras y son considerados como unos parámetros directos de comprobar que hay un drenaje ácido (Rojas-Bardalez et al., 2022). Por último, el oxígeno disuelto pone de manifiesto la capacidad del agua para sostener vida acuática y tiende a decrecer en el caso de materia orgánica o descargas contaminantes, convirtiéndose en un parámetro necesario para el control general del medio (Espinoza Ortiz et al., 2021).

En definitiva, la caracterización de efluentes dentro de la evaluación ambiental no solo es un ejercicio técnico sino por el contrario, se trata de un tipo de insumo fundamental para el monitoreo ambiental, la prevención de impactos y

la creación de políticas públicas que fomenten la sostenibilidad y que sean compatibles con la justicia ambiental en el Perú.

### 1.1.15 Marco legal

El marco legal peruano establece las bases para la protección ambiental y la gestión sostenible de los recursos naturales. La Constitución Política del Perú de 1993 reconoce en su artículo 2 numeral 22 el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para la vida, mientras que en los artículos 66 al 68 se dispone que los recursos naturales son patrimonio de la Nación, cuya administración debe orientarse hacia el interés general. La Ley N.º 28611, Ley General del Ambiente, constituye la norma marco de la política ambiental, complementada por la Ley N.º 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y la Ley N.º 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, que fortalecen la institucionalidad ambiental. Asimismo, la Ley N.º 28090, Ley que regula el Cierre de Minas, y la Ley N.º 28271 sobre pasivos ambientales de la actividad minera, con sus modificatorias, establecen lineamientos específicos para la minería y buscan prevenir daños ambientales de largo plazo. Estas disposiciones convergen en la obligación de incorporar evaluaciones ambientales y planes de gestión en todo proyecto extractivo.

En el ámbito académico han quedado resueltas en forma de evidencias de que la eficacia del marco legal depende de su capacidad por articularse con procesos técnicos de caracterización y control ambiental. Johnson y Hallberg (2005) realizaron una revisión mundial en la que expresaron que el drenaje ácido de mina es uno de los problemas ambientales más complejos relacionados con la minería metálica, debido a las concentraciones extremos de acidez además de los metales pesados que poseen los efluentes. En caso peruano, el trabajo de Valdez-Núñez et al. (2022) sobre comunidades microbianas en el drenaje ácido de mina nuevamente encontró cómo la actividad de la mina logra conducir a la producción de condiciones extremas, las cuales necesitan marcos regulatorios consistentes y mecanismos de control permanentes.

Bajo la mirada de la gestión de recursos hídricos, la gestión sostenible de sedimentos que deben tener los embalses o los ríos regulados tiene que ir de la

mano de marcos normativos que aseguren la estabilidad de los ecosistemas o la calidad del agua (Kondolf et al., 2014). En el mismo sentido, las políticas de dragado y control de sedimentos deben lograr un equilibrio entre la conservación de los ecosistemas y la necesidad de infraestructuras (Yan y Li, 2023). Todos estos trabajos dejan claro que los marcos legales, tanto en el Perú como en otros países a nivel internacional son herramientas inalienables para el logro de que la minería y otras actividades extractivas se vean acompañadas de medidas efectivas de prevención y mitigación.

De esta manera, el marco legal peruano no queda circunscrito dentro de la Constitución (donde se encuentran la normativa en temática medioambiental y de minería), sino que además, se reafirma con la evidencia científica que existe a nivel internacional que revela que es fundamental articular normas estrictas con herramientas de control ambiental, las cuales son particularmente necesarias en problemáticas como los pasivos mineros, los drenajes ácidos o la gestión de sedimentos que producen respuestas regulatorias obvias (como serían las políticas de control o de cruce de documentos) junto a mecanismos de cumplimiento claros y específicos.

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 Internacionales

Varios estudios internacionales aportaron considerable evidencia con respecto a la caracterización de los efluentes mineros y a los controles ambientales de las aguas afectadas por la minería, como lo constatan Atrei et al. (2019) quienes investigaron el uso de hidrogeles magnéticos eco-amigables reticulados con nanopartículas de magnetita para la remediación de aguas contaminadas por drenajes ácidos de mina, evidenciando una elevada eficacia en la reducción de acidez y de metales pesados, habiendo hallado una alternativa tecnológica sostenible para los efluentes mineros; también, Calugaru et al. (2018) examinaron el uso de materiales modificados para la eliminación de metales y metaloides en efluentes neutros contaminados, dado que logran reducciones significativas de arsénico, cadmio y zinc, a lo cual se encuentra un soporte más fuerte de las opciones de tratamientos pasivos en relación con la actividad minera.

Desde la óptica geoquímica pudieron comprobar lo que hizo Copetti et al. (2019) en un núcleo profundo de sedimento fluvial, en la zona metropolitana de la ciudad de Milán, utilizando al fósforo como trazador de impactos antropogénicos de larga duración. Los resultados obtenidos reflejaron incrementos mantenidos de fósforo ligados con la intensificación de las actividades humanas, lo que pone de manifiesto la utilidad de los indicadores geoquímicos para el seguimiento de una contaminación histórica. En un enfoque más industrial, Cordoba y Staicu (2018) analizaron los efluentes de desulfurización de gases de combustión como posible fuente de recuperación de selenio y mostraron que las corrientes residuales pueden ser entendidas como un recurso sin aprovechar y con deficiencias medioambientales y económicas.

Del mismo modo, Dean et al. (2019) analizaron la capacidad metabólica de *Chlamydomonas acidophila* en agua de drenaje ácido de mina, mostrando mecanismos de tolerancia que la convierten en un bioindicador en condiciones extremas. Por su parte, Fernando et al. (2018) revisaron los inconvenientes en la eliminación de sulfatos en aguas contaminadas, concluyendo que la combinación de tecnologías invierte positivamente en la eficiencia y la viabilidad económica del tratamiento. En la misma línea, Moodley et al. (2018) mencionaron que el potencial del uso de subproductos industriales para la remediación de aguas ácidas, reduciendo los costes y la huella medioambiental.

Otros estudios se centraron en algunos contaminantes concretos y algunas metodologías de seguimiento. Zolnikov y Ramirez Ortiz (2018) hicieron una revisión sistemática sobre la gestión del mercurio en la minería artesanal, concluyendo que la efectividad de las intervenciones requiere la integración de tecnologías de tratamiento junto con marcos de gobernanza. Rügner et al. (2019), al analizar sedimentos suspendidos en cuencas europeas demostraron que contaminantes como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y metales se asociaban estrechamente con la dinámica de sólidos suspendidos, lo que remarcaba la necesidad de incluir este componente en la caracterización de los efluentes.

En cuanto a herramientas de monitoreo, Isidro et al. (2018) validaron el uso de teledetección satelital para cuantificar sólidos suspendidos en pequeños

ríos, mientras que Kim et al. (2017) y Wang et al. (2018) analizaron variaciones espacio-temporales de clorofila-a y sólidos suspendidos totales en contextos costeros y estuarinos, mostrando la utilidad de las imágenes satelitales para el seguimiento ambiental. Por último, Wu et al. (2019) aplicaron la inferencia bayesiana a modelos de calidad del agua, logrando predicciones más confiables de sólidos suspendidos y reduciendo la incertidumbre en la simulación de escenarios de contaminación.

Estos antecedentes internacionales evidencian que la caracterización de efluentes mineros va más allá de los parámetros físico-químicos convencionales a innovación técnica, bioindicadores, trazadores geoquímicos o herramientas de seguimiento a distancia y estadístico; todos ellos necesarios para el diseño de estrategias de gestión del medioambiente robustas.

### 1.2.2 Nacionales

En el contexto específico de Perú, se produjeron diferentes trabajos que se aproximaron a la problemática del drenaje ácido de mina, así como de la caracterización de los efluentes en ecosistemas altoandinos. Garcia et al. (2025) propusieron una metodología, innovadora porque se sustentó en imágenes satelitales Landsat 8, para identificar lagos ácidos en la Cordillera Blanca; este estudio integró datos de pH (recogidos en campo) junto a la cartografía geológica de la Formación Chicama, mostrando que la exposición a elementos rocosos que son ricos en sulfuros estaba asociada a las mayores acideces de los lagos, más aún en las zonas de importante retroceso glaciar.

Como un trabajo complementario desde otro tipo de metodología, Valdez-Núñez et al. (2022) caracterizaron comunidades microbianas en drenajes ácidos de mina en Hualgayoc, Cajamarca. Mediante el análisis de metagenomas, estos ensamblajes de microorganismos acidófilos, además de intensificar la acidez, ponen de manifiesto el ciclado de metales y ofrecen pruebas de una influencia biológica en la geoquímica presente en los efluentes mineros.

Por su parte, el estudio que llevan a cabo Sevink et al. (2015) en un arroyo contaminado por drenaje ácido de la Cordillera Negra muestra la existencia de microterrazas musgosas generadas por precipitación de óxidos de hierro y

aluminio, pero también por la retención de sedimentos finos, pero también por la retención de sedimentos finos. Son estructuras singulares que contienen arsénico en porcentajes elevados y son interpretadas como indicios de la condición ecológica de ambientes extremos por los efectos de la actividad minera.

Finalmente, Santofimia et al. (2017) documentaron la formación de drenajes ácidos por roca en el Nevado Pastoruri, Cordillera Blanca. Unos drenajes que se habrían generado por el retroceso de un glaciar que dejaba expuestos minerales sulfurados. En su trabajo concluyen que la oxidación de sulfuros en ambientes de alta montaña incrementaba simultáneamente la acidificación del agua y la concentración de metales aportando evidencias sobre los riesgos medioambientales que vulneran la aparición de pasivos naturales y mineros por el cambio climático.

En su conjunto, estos antecedentes nacionales corroboraban que la caracterización de metales en efluentes mineros en Perú había sido abordada desde interdisciplinidades que incluyen técnicas de teledetección, estudios microbiológicos, la utilización de indicadores ecológicos y análisis geoquímicos por lo que se corroboraba la vulnerabilidad de los ecosistemas altoandinos en relación con la minería y la aparición de pasivos.

### 1.2.3 Locales

Monroy et al. (2014) examinando el Lago Titicaca, hallaron notorias concentraciones de metales pesados en agua, sedimentos y en especies de peces de los principales tributarios, siendo el Ramis una de las fuentes de contaminación más relevantes del lago; la investigación reveló, además, una significativa bioacumulación de metales pesados entre las especies ícticas consumidas por el ser humano al determinar la actividad minera como la causante de serios problemas de salud pública y en los ecosistemas acuáticos.

Por su parte, Matamet y Bonotto (2019) determinaron las tasas de sedimentación y la acumulación de metales en el Ramis, sobre todo en la zona de Ananea, foco de minería aurífera. Empleando datación con plomo-210 y análisis de perfiles de sedimentos, demostraron que los aportes mineros aumentaron la



carga sólida y la contaminación histórica de la cuenca, consolidando al Ramis como un receptor relevante de efluentes mineros en la región.

Más recientemente Ferro et al. (2023) evaluaron parámetros inorgánicos en agua de consumo humano en distritos urbanos de Puno. El estudio demostró que concentraciones de algunos puntos de la red de abastecimiento superaban estándares de calidad, lo que mostró la vulnerabilidad de las poblaciones locales frente a la contaminación difusa asociada a actividades extractivas.

Por lo cual, la suma de todos esos antecedentes locales evidenció que la región de Puno tuvo una alta exposición a la contaminación de la actividad minera tanto en fuentes activas como pasivos. La mayoría de los estudios ventilados en esta sección consideran importante fortalecer los sistemas de monitoreo ambiental en cuencas sensibles como son las cuencas de Yanaorcco y Saqui-Sina, priorizando la salud de los pueblos y la sostenibilidad de los ecosistemas altoandinos.

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

El drenaje ácido de minas (DAM) constituyó uno de los problemas ambientales de más importancia en zonas mineras, ya sean operativas o abandonadas, en virtud de la oxidación de los minerales sulfurados, caso de la pirita, que se hallaban en contacto con el agua y el oxígeno, fenómeno que se vio favorecido por la acción de las bacterias oxidantes de hierro y azufre (Johnson y Hallberg, 2005; Nordstrom, 2011). Las aguas ácidas que se generaron deterioraron la calidad de los recursos hídricos al explicar metales pesados y elementos que podrían ser tóxicos y que influyeron negativamente de forma indirecta sobre una biodiversidad y la salud de las poblaciones cercanas (Younger, 2001).

En el Perú, el DAM se constituyó como un impacto ambiental de mayor importancia, en especial áreas altoandinas donde la minería metálica comenzó a experimentar el contacto de sulfuros con los elementos que componen el medio (Valdez-Nuñez et al., 2022). Por su parte, los estudios recientes destacaban que esto se agudizaba cada vez más en la región de Puno donde Los vertidos mineros y los pasivos ambientales aportaban con un riego de contaminación a ríos y lagunas (Valdez-Nuñez et al., 2022). Ante esto, el monitoreo de efluentes se consideró como un mecanismo que debía implementarse para evitar que los vertidos en cuestión no trajeran como consecuencia algún riesgo para la salud o bien para el medio ambiente (MINAM, 2017). Asimismo, se sugirió la aplicación de tecnologías emergentes como el uso de subproductos industriales que sirvieran para contrarrestar con la acidez y la producción de oligoelementos (Moodley et al., 2018).

#### 2.2 Enunciados del problema

##### 2.2.1 Problema general

- ¿Cómo caracterizar los efluentes mineros para el monitoreo ambiental del proyecto Yanaorecco -comunidad Saqui-Sina-san Antonio de Putina-Puno?

### 2.2.2 Problemas específicos

- ¿Como caracterizar la presencia de efluentes mineros para el monitoreo ambiental del proyecto Yanaorcco?
- ¿Como Remediar los parámetros que sobrepasan los límites máximos permisibles, mediante el triángulo de Nikola Tesla??

## 2.3 Justificación

La interpretación de las formas en que el estudio puede justificarse radica en la creciente presencia de proyectos de explotación minera en comunidades de la provincia de San Antonio de Putina, así como en la necesidad de entender los resultados, siempre condicionados por la manera en la que la comunidad interactuó con la empresa y estas con las autoridades locales y sectoriales. Cada proyecto minero implicó una experiencia variada, condicionada por factores también socioeconómicos, culturales y geográficos; así como por la historia e idiosincrasia de cada comunidad regulada también por la forma en la que cada una de ellas interactuó con las políticas de empresa a partir de las cuales se fueron desarrollando.

La evaluación ambiental llevada a cabo de los efluentes del proyecto Yanaorcco permitió reconocer contaminantes que provienen de la actividad minera artesanal, diezmar y mitigar sus impactos en el ambiente y en la salud de la población que habita la comunidad de Saqui; también se propuso la forma a partir de la cual se aportaron bases para cambiar la calidad de vida de los pobladores, así como para encauzar acciones para gestionar el ambiente bajo los principios de la sostenibilidad.

De igual forma, los resultados ofrecieron al Estado una formalidad jurídica para conseguir un fortalecimiento en los procesos de fiscalización muy especialmente para que la contaminación no se institucionalizara en el área de influencia directa; el estudio proporcionó información y datos para que la empresa consolidara prácticas de sostenibilidad en la comunidad de Saqui en la forma de acciones con criterios de equidad, eficiencia y responsabilidad social; por último, el trabajo estudió las relaciones, las alianzas, los conflictos entre actores y protagonistas (la comunidad, la empresa y las autoridades) bajo el prisma de los procesos, la historia de los resultados y los resultados mismos.

## 2.4 Objetivos

### 2.4.1 Objetivo general

- Caracterizar la presencia de efluentes mineros para el monitoreo ambiental del proyecto Yanaorcco, del distrito de Sina, San Antonio de Putina, Puno.

### 2.4.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de contaminación de los efluentes mineros para el monitoreo ambiental del proyecto Yanaorcco.
- Remediar los parámetros que sobrepasan los límites máximos permisibles, mediante el triángulo de Nikola Tesla.

## 2.5 Hipótesis

### 2.5.1 Hipótesis general

- La caracterización de los efluentes mineros mejora el monitoreo ambiental del proyecto Yanaorcco-comunidad Saqui-San Antonio de Putina-Puno.

### 2.5.2 Hipótesis específicas

- La determinación de parámetros de los efluentes mineros mejorará el monitoreo ambiental.
- La remediación de parámetros de los efluentes mineros mejora el monitoreo ambiental mediante el triángulo de Nikola Tesla.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de estudio

El yacimiento minero de Yanaorcco se encuentra ubicado en el paraje Saqui, distrito de Sina, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno; entre una altura de 4180 a 4190 msnm.

##### 3.1.1 Ubicación del proyecto

El proyecto de Yanaorcco se encuentra localizado en la Concesión de la Empresa Minera Cunuyo 2003 E.I.R.L., ubicado en el paraje Yanaorcco, de la comunidad de Saqui, en el distrito de Sina, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno a una altitud de 3890 m.s.n.m.

- Paraje : Yanaorcco.
- Comunidad : Saqui.
- Distrito : Sina.
- Provincia : San Antonio de Putina.
- Departamento : Puno.

El acceso al área del Proyecto mencionado anteriormente se llega por el siguiente acceso el cuál se detalla: (Ver plano de ubicación, accesibilidad y concesión N° 01, 02 y 03).

**Tabla 4**

*Accesibilidad al proyecto*

<b>Tramos (Puno – mina)</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Estado</b>	<b>Tiempo (horas)</b>
Puno - Juliaca	45	Asfaltada	00h 45 min.
Juliaca – Huancané	45	Asfaltada	01h 15 min.
Huancané – Cojata	45	Afirmado	00h 45 min.
Cojata – Sina	65	Afirmada	01h 50 min.
Sina – Yanaorcco	15	Trocha carrozable	01h 13 min.
<b>Total:</b>	<b>215</b>		<b>05h 48 min.</b>

### 3.1.2 Extensión de la concesión

El petitorio minero abarca 300.00 hectáreas el cual se encuentra incorporado debidamente en el Catastro Minero Nacional; con código N° 080007603, titulado el 27 de octubre del 2003. (Ver plano de concesión N° 02 y título de concesión).

### 3.1.3 Coordenadas UTM de los vértices de la concesión

**Tabla 5**

*Coordenadas de la concesión Cunuyo 2003*

Vértice	Coordenadas UTM psad56 19s	
	Norte	Este
V1	8 393 000	479 000
V2	8 393 000	481 000
V3	8 391 000	481 000
V4	8 391 000	480 000
V5	8 392 000	480 000
V6	8 392 000	479 000

**Tabla 6**

*Coordenadas de la concesión cunuyo 2003*

Vértice	Coordenadas UTM wgs84 19s	
	Norte	Este
V1	8392633	478794
V2	8392633	480794
V3	8390633	480794
V4	8390633	479794
V5	8391633	479794
V6	8391633	478794

### 3.1.4 Topografía y fisiografía

La zona del proyecto Yanaorcco presentó una topografía irregular y abrupta, con pendientes pronunciadas, crestas y aristas agudas que configuraron

un relieve accidentado propio de la Cordillera Oriental de los Andes. El área incluyó sectores de cordillera, puna y quebradas poco profundas, rodeadas por colinas y cumbres de fuerte elevación. Esta compleja fisiografía, con discontinuidades marcadas hacia el sur y el este, condicionó tanto la dinámica de los recursos hídricos como la necesidad de un monitoreo ambiental permanente en los cuerpos de agua de influencia.

### 3.1.5 Clima y meteorología

El análisis climático y meteorológico del área del proyecto Yanaorcco se basó en la información de las estaciones más cercanas, Ananea y Cuyo Cuyo, reportadas por el SENAMHI – Puno.

#### A. Clima

El clima de la zona se caracterizó como frío glacial, con un periodo seco entre abril y noviembre y lluvias intensas entre diciembre y marzo. La presencia de glaciares y la Cordillera de los Andes condicionaron la acumulación de nubes y las precipitaciones, así como el deshielo parcial en época húmeda.

#### B. Precipitación

En la estación Ananea, la precipitación media anual alcanzó 647,7 mm, concentrándose un 50,3 % en los meses de enero a marzo (Tabla 7). En la estación Cuyo Cuyo, la media anual fue 552 mm, con 63,8 % del total anual entre diciembre y marzo (Tabla 9). Esto mostró un régimen marcadamente estacional, con máximos en verano y mínimos en invierno.

**Tabla 7**

*Precipitación total mensual (mm) periodo (1980-2004), estación Ananea*

Mes	Valor (mm)
Enero	128,3
Febrero	101,9
Marzo	96,5
Abril	47,3
Mayo	19,3

Mes	Valor (mm)
Junio	7,2
Julio	5,5
Agosto	14
Septiembre	29,2
Octubre	46,6
Noviembre	59,9
Diciembre	92
Total	647,7

*Nota.* Elaborado con información proveniente de SENAMHI – Puno.

### Tabla 8

#### *Ubicación de la estación Ananea*

Descripción	Valor
Estación	ANANEA
Longitud	14°40'36"W
Latitud	69°32'1.9"W
Altitud	4714 m.s.n.m.
Distrito	Ananea
Provincia	San Antonio de Putina
Región	Puno

La precipitación en la estación Cuyo Cuyo mostró un régimen altamente estacional, con valores concentrados entre diciembre y marzo, que representaron el 63,8 % del total anual. El mes de mayor precipitación fue enero, con un promedio de 129,9 mm, mientras que el mínimo se registró en junio, con apenas 2,6 mm, lo que evidenció un marcado contraste entre la estación húmeda y la seca.

Los años 2004 y 2006 presentaron los picos más altos (629,2 y 568,9 mm respectivamente), mientras que 2005 mostró el valor más bajo (455,6 mm), lo que sugirió una variabilidad interanual significativa, posiblemente asociada a fenómenos climáticos regionales como El Niño y La Niña.

**Tabla 9**

*Precipitación total mensual (mm), periodo (2004-2008), estación Cuyo Cuyo*

<b>Años</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>Total</b>
Enero	137,7	85,5	182,1	108,4	135,6	129,9
Febrero	66,2	76,6	41,4	67,6	47,2	59,8
Marzo	85,0	47,5	59,0	115,6	78,6	77,1
Abril	42,0	3,3	35,1	7,5	20,6	21,7
Mayo	27,0	0,9	5,0	12,2	26,8	14,4
Junio	7,7	0,4	1,4	0,8	2,5	2,6
Julio	16,4	7,7	3,5	11,7	2,2	8,3
Agosto	49,5	9,3	16,6	5,7	19,2	20,1
Septiembre	21,9	27,2	35,1	44,0	9,2	27,5
Octubre	21,2	61,0	44,8	57,4	79,6	52,8
Noviembre	68,0	51,9	81,5	38,8	21,3	52,3
Diciembre	86,6	84,3	63,4	94,6	99,1	85,6
<b>Total</b>	<b>629,2</b>	<b>455,6</b>	<b>568,9</b>	<b>564,3</b>	<b>541,9</b>	<b>552,0</b>

*Nota.* Elaborado con información proveniente de SENAMHI – Puno.

Este comportamiento reflejó que la zona de estudio estuvo expuesta a periodos de lluvias intensas y concentradas en pocos meses, lo que incrementó el riesgo de erosión y arrastre de sedimentos hacia quebradas y ríos. En contraste, la prolongada sequía de mayo a septiembre condicionó limitaciones para la recarga hídrica, el desarrollo agrícola y la disponibilidad de agua para la población local.

**Tabla 10**

*Ubicación de la estación Cuyo Cuyo*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Estación	Cuyo Cuyo
Latitud	14°29'20.1"W
Longitud	69°32'56.4"W
Altitud	3910 m.s.n.m.
Distrito	Cuyo Cuyo
Provincia	Sandia
Región	Puno

### C. Evaporación

La evaporación promedio anual en Ananea fue de 2,3 mm, con mínimos en julio (1,6 mm) y máximos en octubre (2,9 mm) (Tabla 11).

**Tabla 11**

*Evaporación promedio mensual (mm), periodo (2002-2005), estación Ananea*

Mes	Valor
Enero	1,9
Febrero	2,2
Marzo	2,7
Abril	2,1
Mayo	2,8
Junio	2,5
Julio	1,6
Agosto	1,9
Septiembre	2,2
Octubre	2,9
Noviembre	2,3
Diciembre	1,9
Promedio	2,3

*Nota.* Elaborado con información proveniente de SENAMHI – Puno.

### D. Temperatura

La temperatura media anual en Ananea fue de 4,3 °C, con máximas medias de 10,9 °C en abril y mayo, y mínimas medias de -3,7 °C en julio (Tabla 12). Esto evidenció condiciones extremas de frío, desfavorables para la vida agrícola y pecuaria.

**Tabla 12**

*Temperatura media mensual y anual °c, periodo (2002-2005), estación: Ananea*

Mes	Máximo	Mínimo	Media
Enero	9,6	0,3	5,0
Febrero	9,8	0,4	5,1

Mes	Máximo	Mínimo	Media
Marzo	10,4	0,0	5,2
Abril	10,9	-0,4	5,3
Mayo	10,9	-1,8	3,8
Junio	10,0	-3,5	3,2
Julio	9,9	-3,7	2,8
Agosto	9,9	-3,5	3,0
Septiembre	10,0	-0,6	3,4
Octubre	10,7	-1,5	4,6
Noviembre	10,6	-1,0	4,8
Diciembre	10,2	0,1	5,1
Promedio	10,2	-1,3	4,3

*Nota.* Elaborado con información proveniente de SENAMHI – Puno.

### E. Humedad Relativa

La humedad relativa promedio anual fue de 85 %, con un máximo de 91 % en febrero y marzo, y un mínimo de 68 % en julio (Tabla 13).

**Tabla 13**

*Humedad relativa promedio mensual (%), periodo (2002-2005), estación: Ananea*

Mes	Valor
Enero	90
Febrero	91
Marzo	91
Abril	87
Mayo	79
Junio	81
Julio	68
Agosto	80
Septiembre	86
Octubre	87
Noviembre	89
Diciembre	89
Promedio	85

*Nota.* Elaborado con información proveniente de SENAMHI – Puno.

### F. Dirección y Velocidad de Viento

Los vientos variaron a lo largo del día: por la mañana alcanzaron 2,0 m/s con dirección NE, por la tarde 4,0 m/s con dirección NW y durante

la noche llegaron hasta 7,5–8,0 m/s, reflejando condiciones dinámicas de circulación atmosférica.

### **3.1.6 Calidad del aire**

El área del proyecto presentó condiciones morfológicas, climáticas y atmosféricas favorables para mantener una buena calidad del aire. Aun cuando existieron emisiones asociadas a la minería artesanal —principalmente gases y partículas en suspensión— estas se encontraron alejadas de la zona de estudio y en niveles mínimos, sin representar riesgos significativos. Dichas emisiones fueron dispersadas y diluidas por las corrientes de aire predominantes, lo que redujo su impacto ambiental.

### **3.1.7 Geomorfología**

La zona del proyecto se ubicó en la unidad morfoestructural de la Cordillera Oriental, caracterizada por un relieve accidentado y la presencia de cuatro subunidades diferenciadas.

#### **A. Pre-Cordillera de Carabaya**

Se localizó entre los 4.400 y 4.800 m s. n. m., con picos que superaron los 5.000 m s. n. m. como el cerro Yanacaca (5.143 m). Presentó una topografía abrupta con laderas escarpadas, valles profundos y colinas de perfiles redondeados. Esta subunidad se modeló principalmente sobre rocas paleozoicas y cretácicas, generando un relieve estructural complejo.

#### **B. Depresión longitudinal del Crucero Ananea–Cojata**

Coincidió con la cuenca superior del río Grande y se caracterizó por la presencia de depósitos glaciales y fluvio-glaciales en forma de abanicos, procedentes de la Precordillera de Carabaya y de los nevados del noreste. Alberga lagunas de origen glacial retenidas por morrenas, como Pacharia, Rinconada y Pararani. Presentó superficies planas o suavemente inclinadas, conocidas como pampas (Parinani, Baltimore, Lima Pampa, entre otras), que contrastaron con los relieves abruptos circundantes.

### **C. Cadena de Nevados**

Se extendió entre los 4.800 y 5.850 m s. n. m., conformando un relieve de cumbres angulosas y glaciares de los que nacen lagunas y riachuelos de origen glacial. Esta subunidad actuó como cabecera de cuencas que alimentaron al valle del río Grande y a otras quebradas tributarias.

### **D. Vertiente Amazónica**

Ocupó el flanco oriental de la cordillera, descendiendo desde los 5.800 m hasta los 1.000 m s. n. m. Se caracterizó por laderas abruptas, valles angostos y ríos de fuerte pendiente, que en sus tramos superiores formaron rápidos y cascadas torrentosas. Entre sus principales drenajes destacaron los ríos Huari Huari, Sandia, Patambuco y Limbani, todos tributarios del río Inambari, que fluyó de sureste a noreste.

#### **3.1.8 Geología regional**

En los cuadrángulos de Putina y La Rinconada afloraron rocas desde el Ordovícico Superior hasta el Cuaternario (INGEMMET). El Paleozoico Inferior estuvo representado por la Formación Sandia (Os-s), compuesta por cuarcitas y pizarras negras con estructuras sedimentarias que sugirieron un ambiente de llanura tidal. Su espesor alcanzó los 3.000 m, con contactos anómalos respecto a la Formación Ananea. La Formación Ananea (Sd-a), de edad silúrico-devónica, consistió en pizarras negras y siltitas finas afectadas por un metamorfismo epizonal leve, lo que indicó un ambiente de plataforma externa con bajo aporte detrítico.

Los depósitos cuaternarios se distribuyeron en la depresión de Carabaya, Ichupalla y valles como Putina. Incluyeron depósitos aluviales y coluviales constituidos por limos, arcillas y gravas, con espesores menores a 1 m en depresiones, además de depósitos fluviales retrabajados del río Grande de Suches.

#### **3.1.9 Geología local**

En la región se reconocieron dos formaciones principales: la Formación Sandia (Ordovícico-Silúrico) y la Formación Ananea (Silúrico-Devónico). La

primera alcanzó hasta 1.641 m de espesor, conformada por cuarcitas, pizarras y areniscas grises, aunque sin macrofósiles diagnósticos; su sedimentación correspondió a un ambiente marino con facies siliciclásticas. La segunda, con unos 500 m de espesor, presentó pizarras oscuras y esquistos con fuerte esquistosidad de flujo, correlacionándose con niveles portadores de graptolitos en localidades cercanas.

### 3.1.10 Descripción del proyecto Yanaorcco

El yacimiento Yanaorcco, parte de la concesión minera Cunuyo 2003 E.I.R.L., se emplazó en mantos mineralizados con estructuras tipo “capa-filón-capá”. La mineralización estuvo controlada por fracturas y microfracturas, donde hasta un 80 % del oro libre se concentró en intersecciones con mantos de cuarzo.

Mineralogía: el cuarzo representó el 92 % de la composición, con oro libre en partículas y como inclusiones en cuarzo y arsenopirita. También se identificaron sulfuros (pirita, pirrotina, galena, blenda, calcopirita, molibdenita, marcasita), sulfosales (arsenopirita, tetraedrita), óxidos (limonita, hematita), silicatos (titanita) y cuarzo como fase no metálica (Tabla 15). La presencia de antimonio y cuarzo ahumado se asoció a mayores leyes auríferas.

**Tabla 14**

*Valores de mineralogía*

Ocurrencia	Mineral	Composición
Elemento Nativo	Oro	
Sulfuros	Blenda	Sulfuro de Zinc
	Galena	Sulfuro de Plomo
	Pirrotina	Sulfuro de Hierro (II)
	Pirita	Disulfuro de Hierro (II)
	Calcopirita	Disulfuro de Hierro y Cobre
	Molibdenita	Disulfuro de Molibdeno
	Marcasita	Sulfuro de Hierro
Sulfosales	Arsenopirita	Sulfuro de Hierro y Arsénico
	Tetraedrita	Antimonio Sulfuro de Hierro y Cobre
Óxidos	Limonita	Óxido e Hidróxido masivos de Hierro
	Oligisto	Óxido Férrico
Silicatos	Titanita	Silicato de Titanio y Calcio
No Metálicos	Cuarzo	Sílice

## A. Estimación de reservas

La Empresa Minera Cunuyo 2003 E.I.R.L. cuenta con una reserva de Mineral de 7370 tm, con una producción diaria de 22 tm/día, y una eficiencia de producción del 90%, se obtendría 20 tm/día.

**Tabla 15**

*Reservas de mineral estimada*

Ubicación	Afloram.	Pot.	Pro f.	P.E .	Probado	Probable
Labor Yanaorcco NV – 184	113	0,10	20	2,8	632,8	632,8
Labor 01 NV – 210	50	0,10	20	2,8	280,0	280,0
Labor Antuco NV – 230	58	0,10	20	2,8	324,8	324,8
Labor Marcelino NV – 230	50	0,10	20	2,8	280,0	280,0
Labor Gloria NV – 234	58	0,10	20	2,8	324,8	324,8
TOTAL					1,842,4	1,842,4
<b>TOTAL</b>					<b>3684,8</b>	<b>3648,8</b>
					<b>TM</b>	<b>TM</b>

*Nota.* DIA del Proyecto Minero “GAU”.

La producción está considerada una producción diaria de 21 TM de mineral lo que hace una producción anual de 7300 TM por lo tanto la vida de la mina es:

$$\frac{7370TM}{7300} = 1 \text{ año}$$

El tiempo de vida del proyecto es de aproximadamente 1 año.

Las reservas podrán incrementarse en base al desarrollo de las galerías y chimeneas proyectadas.

Esto no significa que el proyecto acaba, sino que en el cálculo no se considera las nuevas exploraciones que realice el Proyecto Yanaorcco.

Aunque la producción de relaves no es constante se tiene una capacidad máxima de producción de 4 tn/día.

### 3.1.11 Método de minado

En la primera etapa del proyecto Yanaorcco se aplicó minería artesanal subterránea, con el desarrollo simultáneo de cinco labores mediante perforación, voladura y limpieza. En la segunda etapa se proyectó una transición a minería subterránea convencional. Las secciones de frentes (1,5 × 1,8 m) respondieron a los parámetros de la Pequeña Minería Convencional, con avances diarios de 2,5 m en conjunto y un total mensual aproximado de 60 m lineales (Tabla 17).

**Tabla 16**

*Labores subterráneas proyectadas*

Labor	Nivel	Long. (m)	Rumbo	Sección (m)
Labor Yanaorcco		150	S 77° E	1,5 x 1,80
Labor - 01	210	40	S 73° W	1,5 x 1,80
Labor Antuco	230	55	S 77° W	1,5 x 1,80
Labor				
Marcelino	230	45	S 84° W	1,5 x 1,80
Labor Gloria	234	35	S 71° W	1,5 x 1,80

El ciclo de minado contempló perforación, voladura, limpieza, acarreo, sostenimiento y ventilación, con labores horizontales (galerías) y verticales (chimeneas) adaptadas a las vetas y mantos.

### 3.1.12 Voladura

Las voladuras se ejecutaron con dinamita al 65 %, fulminantes comunes N° 8 y mechas de seguridad. El almacenamiento de explosivos se realizó en polvorines que cumplieron las normas de seguridad e higiene minera.

### 3.1.13 Limpieza

Tras cada disparo se procedió a la ventilación, regado y desatado de rocas sueltas. La limpieza se realizó manualmente con cuatro operarios (dos paleros y dos carretilleros), quienes separaron el mineral aurífero del material estéril. Este

último se transportó en carretillas hacia las canchas de desmote ubicadas en superficie. Se previó que el tiempo de limpieza aumentara a medida que los frentes profundizaran.

#### **3.1.14 Sostenimiento**

La estabilidad del terreno se verificó antes de cada nueva perforación. El sostenimiento se efectuó con cuadros de madera y puntales de eucalipto, aunque su uso fue limitado debido a la competencia de la roca encajonante (pizarras silicificadas). En chimeneas se utilizó cribbing según el comportamiento geomecánico del terreno, reforzando la seguridad del personal.

#### **3.1.15 Ventilación**

La ventilación se implementó de manera natural, favorecida por la configuración de las labores. Esta medida buscó garantizar un ambiente de trabajo seguro y minimizar los riesgos para la salud del personal, especialmente en operaciones con presencia de gases y polvo en suspensión.

### **3.2 Población**

La población, como la muestra está constituida por toda el área indicada en el lugar de estudio limitado por la Concesión Minera Cunuyo 2003.

### **3.3 Muestra**

La muestra está constituida por toda el área indicada en el lugar de estudio limitado por la Concesión Minera Cunuyo 2003. Por lo que es un caso de universo muestral.

### **3.4 Método de investigación**

El proyecto de investigación utilizará una metodología descriptiva-transversal para procesar e interpretar datos obtenidos en diferentes fases del estudio, con el objetivo de presentar un análisis interpretativo del comportamiento geológico del yacimiento minero y su potencial de generación de drenaje ácido en operación y pasivos ambientales mineros.

### **3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos**

Básicamente, se utilizarán las metodologías de toma de muestras del efluente minero de la bocamina Yanaorcco, cartografiado geológico e interpretación de muestras. El proyecto de investigación seguirá un procedimiento metodológico descriptivo-transversal para procesar e interpretar los datos obtenidos en diferentes fases del estudio, con el objetivo de presentar un análisis interpretativo del comportamiento geológico del yacimiento minero y su potencial de generación de drenaje ácido en operación y pasivos ambientales mineros:

#### **3.5.1 Acopio de información**

El proyecto de investigación utilizará una metodología descriptiva-transversal que procesará e interpretará datos obtenidos en distintas fases del estudio para dar a conocer el comportamiento geológico del yacimiento minero y su potencial de generación de drenaje ácido en operación y pasivos ambientales mineros. Se acumulará información diversa sobre las muestras tomadas y su correspondiente resultado de análisis en laboratorio para la determinación del drenaje ácido de mina y los sólidos totales en suspensión. Además, se revisará bibliografía y se acudirá a la revisión de diferentes trabajos de influencia, como los boletines publicados por el INGEMMET y artículos científicos relacionados para poder trabajar sobre ella marcando y delineando los lineamientos principales donde está ubicado el proyecto.

#### **3.5.2 Trabajo de campo**

Se determinarán in situ los puntos de monitoreo mediante el cartografiado geológico a una escala de 1/5000 y 1/2000 usando un mapa topográfico base, los puntos se ubicarán con el GPS Garmin facilitando las coordenadas UTM. Como también se hará la evaluación ambiental para relacionar con la generación de drenaje ácido en pasivos ambientales mineros.

#### **3.5.3 Trabajo de gabinete**

Obtenidos los datos de campo en general y consolidados, se efectuará el procesamiento de la información aplicando softwares informáticos, tales como ArcGIS 10.1, que nos facilitará en procesar los mapas y cuadros de resultado de



análisis en laboratorio. Posteriormente se juntarán los resultados finales de las fases anteriores y se procesará e interpretará toda la información; teniendo cuidado especial en condensar solamente los más relevantes y probados, elaborando fichas definitivas y un informe final de investigación.

#### 3.5.4 Método estadístico

Para el presente trabajo de investigación se usará el método estadístico: El diseño completamente al azar (DCA).

Cuyo modelo aditivo es:

$$Y_{ij} = u + \alpha_i + e_{ij} \quad \{ * i = 1,2,3,$$

$$\{ \quad J = 1,2,3,4,5$$

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados

##### 4.1.1 Monitoreo ambiental

El monitoreo ambiental se estableció como un procedimiento fundamental para verificar la eficacia de las medidas de manejo ambiental en el proyecto minero. Se aplicó mediante mediciones sistemáticas de agua, aire y suelo, seleccionando indicadores específicos que permitieron identificar los cambios generados por la actividad extractiva. Los resultados obtenidos se compararon con los estándares de calidad ambiental vigentes y sirvieron de base para ajustar, corregir o mitigar los impactos detectados.

Asimismo, los datos se consolidaron en informes periódicos destinados tanto a instancias internas como externas, garantizando la transparencia en la gestión ambiental. Este proceso se complementó con la revisión de bibliografía técnica, boletines del INGEMMET y literatura científica especializada, lo que fortaleció la validez del monitoreo y su aporte al Programa de Manejo Ambiental (PMA).

##### A. Calidad del Agua Superficial

La evaluación de la calidad del agua se fundamentó en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Agua, D.S. N.º 002-2008-MINAM), la Resolución Jefatural N.º 202-2010-ANA, el D.S. N.º 023-2009-MINAM y el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de Agua (R.J. N.º 082-2011-ANA). El objetivo fue determinar el estado de los cuerpos hídricos vinculados al proyecto minero Yanaorcco y establecer si los efluentes cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para descargas minero-metalúrgicas (D.S. N.º 010-2010-MINAM).

##### A.1 Ubicación de Estaciones de Monitoreo de Agua

Se definieron tres estaciones estratégicas (Tabla 18), una en el efluente de la bocamina Yanaorcco (PM-01), y dos en el río Cunuyo

(aguas arriba, PM-02, y aguas abajo, PM-03). Esta distribución permitió evaluar tanto la calidad natural del agua como el impacto de los efluentes mineros sobre el curso del río.

**Tabla 17**

*Ubicación de estaciones de monitoreo de agua*

N°	Descripción	Coordenadas UTM. Zona 19 L		Altitud m.s.n.m.
		N	E	
PM-01	Bocamina Yanaorcco	8'392.385,00	480.534,00	4.184
PM-02	Río Cunuyo aguas arriba	8'392.341,00	479.194,00	3.885
PM-03	Río Cunuyo aguas abajo	8'393.684,00	479.979,00	3.797

El muestreo estuvo a cargo de personal capacitado, utilizando técnicas del protocolo minero, y se efectuó antes del inicio de operaciones y de forma periódica durante el año.

## **A.2 Parámetros y control de calidad**

En los puntos establecidos se analizaron parámetros físico-químicos y metales pesados: pH, sólidos totales en suspensión, aceites y grasas, cianuro total, arsénico, cadmio, cromo hexavalente, cobre, hierro disuelto, plomo, mercurio y zinc. Los resultados obtenidos fueron comparados con los LMP vigentes, tanto en límites instantáneos como en promedios anuales.

## **A.3 Interpretación esperada**

El diseño del monitoreo permitió:

- Establecer una línea base de la calidad del agua en el río Cunuyo y en el efluente de la bocamina.
- Comparar aguas arriba y abajo para identificar incrementos atribuibles a la actividad minera.

- Determinar riesgos ambientales asociados a metales pesados y sustancias tóxicas.
- Apoyar la gestión ambiental del proyecto, facilitando la toma de decisiones correctivas en caso de incumplimientos normativos.

#### 4.1.2 Exposición de resultados

Los análisis de calidad de agua fueron realizados en el laboratorio acreditado MEGALABORATORIOS QUIMICOS DE LOS ANDES S.A.C., con RUC N° 20612800741 reconocido por INDECOPI. Se evaluaron parámetros físico-químicos y metales pesados conforme a lo establecido en el D.S. N.° 010-2010-MINAM, Anexo 01, que regula los Límites Máximos Permisibles (LMP) para descargas de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas. Los resultados se contrastaron con los valores normativos para determinar la magnitud de los impactos ambientales.

**Tabla 18**

*Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas*

Parámetros	Unidad	Limites en cualquier momento	Límites para el promedio anual	PM 01	PM 02	PM 03
pH		6 - 9	6 - 9	5.2	7.2	6.9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25	70.09	18.3	20.6
Aceites y Grasas	mg/L	20	16	N.D.	N.D.	N.D.
Cianuro Total	mg/L	1	0.8	N.D.	N.D.	N.D.
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.08	N.D.	N.D.	N.D.
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.04	N.D.	N.D.	N.D.
Cromo Hexavalente (*)	mg/L	0.1	0.08	N.D.	N.D.	N.D.
Cobre Total	mg/L	0.5	0.4	N.D.	N.D.	N.D.
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1.6	N.D.	N.D.	N.D.
Plomo Total	mg/L	0.2	0.16	N.D.	N.D.	N.D.
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016	N.D.	N.D.	N.D.
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2	N.D.	N.D.	N.D.

*Nota.* D.S. 010-2010-MINAM, Anexo 01, El Peruano.

El análisis del pH mostró que en el punto PM-01, correspondiente a la bocamina Yanaorcco, se obtuvo un valor de 5,2; el cual se encuentra por debajo del rango permitido de 6 a 9. Este resultado evidenció condiciones de acidez que pueden asociarse al drenaje ácido de mina (DAM), representando un riesgo directo para el equilibrio del río Cunuyo. En cambio, en los puntos PM-02 y PM-03, aguas arriba y aguas abajo respectivamente, los valores de 7,2 y 6,9 se mantuvieron dentro de los límites establecidos, lo que indicó condiciones estables y conformes a la normatividad ambiental vigente.

En cuanto a los sólidos totales en suspensión (STS), el resultado en PM-01 fue de 70,09 mg/L, superando el límite máximo permisible de 50 mg/L. Esto reflejó una importante carga de sedimentos provenientes de la bocamina, que incrementa la turbidez del agua y puede afectar negativamente a la biota acuática. Por el contrario, en PM-02 y PM-03, los valores obtenidos fueron de 18,3 mg/L y 20,6 mg/L, ambos por debajo de los límites establecidos, lo que mostró que en estas zonas la concentración de partículas suspendidas es baja y no representa un riesgo ambiental significativo.

Respecto a los demás parámetros analizados, tales como aceites y grasas, cianuro total, arsénico, cadmio, cromo hexavalente, cobre, hierro, plomo, mercurio y zinc, en ninguno de los tres puntos se detectaron concentraciones relevantes (N.D.). Esta ausencia de metales pesados y compuestos tóxicos resulta favorable, ya que elimina riesgos de toxicidad crónica, bioacumulación y contaminación de los ecosistemas acuáticos.

En síntesis, los resultados evidencian que la mayor afectación ambiental se concentra en el punto PM-01, donde la acidez y la carga de sólidos en suspensión superaron los Límites Máximos Permisibles, confirmando que la bocamina constituye la principal fuente de alteración de la calidad del agua. Por el contrario, los puntos PM-02 y PM-03 mostraron parámetros dentro de la normatividad, lo que sugiere una capacidad de dilución del río Cunuyo que reduce los impactos aguas abajo. Sin embargo, esta capacidad natural de mitigación no garantiza la ausencia de efectos acumulativos, por lo que se recomienda mantener un monitoreo constante y aplicar medidas de control específicas en el efluente minero.

## 4.2 Discusión

### 4.2.1 Discusión por parámetros

#### A. pH

En el punto PM-01, vinculado a la bocamina Yanaorcco, fue hallado un pH de 5,2, ya que este indicativo fue encontrado por debajo de su rango de referencia regulatoria, este oscilando de 6 a 9 conforme a lo estipulado en el D.S. N° 010-2010-MINAM. Esto indica ácidos que son característicos del drenaje de mina ácido (DAM). Santofimia et al. (2017) afirman que en los manantiales del nevado Pastoruri, el rango de pH fue desde 2,55 a 6,42, donde se puede asociar una directa intervención de la oxidación de sulfuros.

Valdez-Nuñez et al. (2022) registraron en Hualgayoc (Cajamarca), bajos valores de pH en efluentes mineros asociados a drenajes ácidos activos. Aconteció lo mismo para el Cerro de Pasco, donde Dold (2009) reportó efluentes con pH de 5,5 a 6,1, valor con el que concuerda la condición registrada en el PM-01. En Cajamarca, Nuñez-Bustamante et al. (2025) evidenciaron que las aguas de AMD antes de sus procesos de tratamiento conservaban pH ácidos.

Finalmente, Atrei et al. (2019) mostraron que las tecnologías de remediación con hidrogeles buscaban precisamente neutralizar efluentes con pH bajo, como los observados en Yanaorcco. En contraste, los puntos PM-02 (7,2) y PM-03 (6,9) mantuvieron valores cercanos a la neutralidad, evidenciando un efecto de dilución y amortiguación en el río Cunuyo.

#### B. Sólidos Totales en Suspensión, STS

El punto PM-01 presentó un valor de 70,09 mg/L de STS, superando el límite máximo de 50 mg/L en cualquier momento según la norma vigente. Estos niveles elevados sugieren turbidez y potencial transporte de partículas contaminantes. Isidro et al. (2018) demostraron que el aumento de sólidos suspendidos en ríos altoandinos estaba

vinculado a descargas mineras y podía ser monitoreado por imágenes satelitales.

Dold (2008) también reportó en Cerro de Pasco que los tailings contribuían significativamente al incremento de sólidos en el agua. Nuñez-Bustamante et al. (2025) describieron que en Hualgayoc los valores de STS eran elevados antes de los tratamientos pasivos implementados. Quispe Quispe (2024) destacaron que en comunidades agrícolas de Junín los altos sólidos suspendidos alteraban la calidad de suelos y aguas, afectando la seguridad alimentaria.

Además, Monroy et al. (2014) encontraron que los STS en sistemas hídricos andinos estaban correlacionados con la presencia de metales, confirmando que los sólidos actúan como vectores de contaminación. En cambio, en PM-02 (18,3 mg/L) y PM-03 (20,6 mg/L), los valores se mantuvieron dentro de los límites, lo que refleja la capacidad de autodepuración del río.

### **C. Metales pesados**

En ninguno de los tres puntos de muestreo se detectaron concentraciones significativas de metales pesados como arsénico, cadmio, plomo, mercurio, cobre o zinc. Este resultado es alentador, aunque debe analizarse críticamente frente a experiencias internacionales y nacionales. Custodio et al. (2020) advirtieron que los ríos de la zona central andina presentan riesgos por arsénico y metales pesados incluso en bajas concentraciones. Nuñez-Bustamante et al. (2025) reportaron en Cajamarca niveles de As, Cd, Cu, Fe y Zn antes del tratamiento de AMD, que descendieron tras la implementación de medidas de control.

Quispe Quispe (2024) mostraron en Junín que los suelos y aguas agrícolas acumulaban metales, lo que afectaba la salud humana y los cultivos. Santofimia et al. (2017) destacaron que los manantiales afectados por AMD contenían hierro y sulfatos elevados, además de trazas metálicas. Finalmente, Zolnikov y Ramirez Ortiz (2018) en su revisión sistemática sobre minería artesanal señalaron que el mercurio y otros



metales persistían en el ambiente aun con bajos registros en agua, acumulándose en sedimentos y biota. Por tanto, la ausencia de detección actual en Yanaorcco no debe interpretarse como inexistencia de riesgo, sino como una condición temporal que podría variar con la dinámica estacional o por acumulación en el sedimento.

## CONCLUSIONES

De la caracterización de los efluentes mineros para el monitoreo ambiental del proyecto Yanaorcco se tiene las siguientes conclusiones:

- De los resultados de la calificación geológica, geomorfológica de la zona de estudio se tiene, que el impacto negativo es natural de la zona.
- Interpretando los resultados de los análisis se tiene que el Ph en el PM 01 es de 5,2, lo que significa que está fuera de los LMP y los STS en la muestra PM 01 es de 70.09 mg/l. que también sobrepasa los LMP. Del análisis de las muestras de agua en el proyecto Yanaorcco se ha identificado que la muestra del PM 01, están generando impacto ambiental hacia la zona de Saqui.
- Los demás parámetros como: aceites y grasas, cromo hexavalente, arsénico total, cadmio total, cobre total zinc total y hierro disuelto, están como N.D. lo que indica que no sobrepasan los LMP en la descarga de Efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgica, los cuales no generan ningún impacto ambiental.
- Para la mitigación de los parámetros que sobrepasan los LMP, se realiza una correlación del triángulo de Nicolas Tesla, con eliminación de uno de los componentes del triángulo que es el oxígeno.

## RECOMENDACIONES

Una vez realizado la calificación de la geología y geomorfología, se recomienda realizar los estudios detallados en toda la zona de la comunidad de Saqui para minimizar y salvaguardar el medio ambiente.

- Se recomienda hacer pozas de sedimentación para mitigar los STS, y posteriormente generar una cubierta vegetal.
- Se recomienda realizar el monitoreo bimestral, para llevar un mejor control de las implicancias, que podrían generar mayores concentraciones en el proyecto Yanaorcco y determinar una mitigación adecuada.
- Se recomienda generar un plan de gestión ambiental en todo el proyecto Yanaorcco, con la finalidad de controlar y mitigar los impactos ambientales producidos por el proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aldy, J., Kotchen, M. J., Evans, M., Fowlie, M., Levinson, A., y Palmer, K. (2021). Cobenefits and Regulatory Impact Analysis: Theory and Evidence from Federal Air Quality Regulations. *Environmental and Energy Policy and the Economy*, 2, 117-156. <https://doi.org/10.1086/711308>
- Aristizábal, E., y Yokota, S. (2006). Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el Valle de Aburra. *Dyna. Universidad Nacional de Colombia*, 73(149), 5-16. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49614902>
- Atrei, A., Fiorani, M., Bellingeri, A., Protano, G., y Corsi, I. (2019). Remediation of acid mine drainage-affected stream waters by means of eco-friendly magnetic hydrogels crosslinked with functionalized magnetite nanoparticles. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 12, 100263. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100263>
- Awewomom, J., Dzeble, F., Takyi, Y. D., Ashie, W. B., Ettey, E. N. Y. O., Afua, P. E., Sackey, L. N. A., Opoku, F., y Akoto, O. (2024). Addressing global environmental pollution using environmental control techniques: a focus on environmental policy and preventive environmental management. *Discover Environment*, 2(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s44274-024-00033-5>
- Barrantes, G., Vahrson, W. G., y Mora, S. (2021). Cambios geomorfológicos e hidrológicos inducidos por el terremoto (Mw 7,7) del 22 de abril de 1991 en la provincia de Limón, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 65, 75-92. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i65.46881>
- Berger, B. R., y Henley, R. W. (2011). Magmatic-vapor expansion and the formation of high-sulfidation gold deposits: Structural controls on hydrothermal alteration and ore mineralization. *Ore Geology Reviews*, 39(1-2), 75-90. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2010.11.004>
- Biehl, J., Köppel, J., Rodorff, V., Huesca Pérez, M. E., Zimmermann, A., Geißler, G., y Rehhausen, A. (2019). Implementing strategic environmental assessment in countries of the global South – An analysis within the Peruvian context.

- Environmental Impact Assessment Review*, 77, 23-39.  
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.02.009>
- Bond, A., Pope, J., Fundingsland, M., Morrison-Saunders, A., Retief, F., y Hauptfleisch, M. (2020). Explaining the political nature of environmental impact assessment (EIA): A neo-Gramscian perspective. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118694.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118694>
- Calizaya Condori, R. M. (2023). Geomorfología estructural exógena como material didáctico para la enseñanza de la geografía local. *Revista de Investigaciones*, 12(2), 115-127. <https://doi.org/10.26788/ri.v12i2.3958>
- Calugaru, I. L., Neculita, C. M., Genty, T., y Zagury, G. J. (2018). Metals and metalloids treatment in contaminated neutral effluents using modified materials. *Journal of Environmental Management*, 212, 142-159.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.002>
- Camprubí, A., y Albinson, T. (2007). Epithermal deposits in México—Update of current knowledge, and an empirical reclassification. En *Geology of Me'xico: Celebrating the Centenary of the Geological Society of Me'xico*. Geological Society of America. [https://doi.org/10.1130/2007.2422\(14\)](https://doi.org/10.1130/2007.2422(14))
- Carlotto, V., Cárdenas, J., y Fidel, L. (2009). La geología, evolución geomorfológica y geodinámica externa de la ciudad inca de Machupicchu, Cusco-Perú. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 65(4), 725-747.  
<https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/878>
- Chen, C., Wang, X.-W., y Liu, Y.-Y. (2024). Stability of ecological systems: A theoretical review. *Physics Reports*, 1088, 1-41.  
<https://doi.org/10.1016/j.physrep.2024.08.001>
- Chiaradia, M. (2015). Crustal thickness control on Sr/Y signatures of recent arc magmas: an Earth scale perspective. *Scientific Reports*, 5(1), 8115.  
<https://doi.org/10.1038/srep08115>
- Choque-Quispe, D., Froehner, S., Ligarda-Samanez, C. A., Ramos-Pacheco, B. S., Peralta-Guevara, D. E., Palomino-Rincón, H., Choque-Quispe, Y., Solano-

- Reynoso, A. M., Barboza-Palomino, G. I., Taipe-Pardo, F., y Zamalloa-Puma, L. M. (2021). Insights from Water Quality of High Andean Springs for Human Consumption in Peru. *Water*, 13(19), 2650. <https://doi.org/10.3390/w13192650>
- Congreso de la República del Perú. (2004). *Ley N.º 28271, Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera* [Diario Oficial El Peruano]. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28271.pdf>
- Copetti, D., Tartari, G., Valsecchi, L., Salerno, F., Viviano, G., Mastroianni, D., Yin, H., y Viganò, L. (2019). Phosphorus content in a deep river sediment core as a tracer of long-term (1962–2011) anthropogenic impacts: A lesson from the Milan metropolitan area. *Science of The Total Environment*, 646, 37-48. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.256>
- Cordoba, P., y Staicu, L. C. (2018). Flue gas desulfurization effluents: An unexploited selenium resource. *Fuel*, 223, 268-276. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.03.052>
- Custodio, M., Cuadrado, W., Peñaloza, R., Montalvo, R., Ochoa, S., y Quispe, J. (2020). Human Risk from Exposure to Heavy Metals and Arsenic in Water from Rivers with Mining Influence in the Central Andes of Peru. *Water*, 12(7), 1946. <https://doi.org/10.3390/w12071946>
- Dash, A. K., Panda, S. P., Sahu, P. K., y Józwiak, B. (2024). Do green innovation and governance limit CO2 emissions: evidence from twelve polluting countries with panel data decision tree model. *Discover Sustainability*, 5(1), 198. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00418-9>
- Dean, A. P., Hartley, A., McIntosh, O. A., Smith, A., Feord, H. K., Holmberg, N. H., King, T., Yardley, E., White, K. N., y Pittman, J. K. (2019). Metabolic adaptation of a *Chlamydomonas acidophila* strain isolated from acid mine drainage ponds with low eukaryotic diversity. *Science of The Total Environment*, 647, 75-87. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.445>
- Dold, B. (2008). Sustainability in metal mining: from exploration, over processing to mine waste management. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 7(4), 275-285. <https://doi.org/10.1007/s11157-008-9142-y>

- Dougoud, M., Vinckenbosch, L., Rohr, R. P., Bersier, L.-F., y Mazza, C. (2018). The feasibility of equilibria in large ecosystems: A primary but neglected concept in the complexity-stability debate. *PLOS Computational Biology*, 14(2), e1005988. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005988>
- Dusík, J., y Bond, A. (2022). Environmental assessments and sustainable finance frameworks: will the EU Taxonomy change the mindset over the contribution of EIA to sustainable development? *Impact Assessment and Project Appraisal*, 40(2), 90-98. <https://doi.org/10.1080/14615517.2022.2027609>
- Espinoza Ortiz, D. M., Jiménez Peña, G., Páez Warton, J., Evangelista Vargas, D., Salas Delgado, M., Ramos Guillén, M., Carrera Saavedra, H., y Natividad, M. Á. (2021). Dimensiones estratégicas para evaluar la efectividad de la Evaluación del Impacto Ambiental, bajo la legislación ambiental peruana. *Revista Kawsaypacha: sociedad y medio ambiente*, 8, 37-60. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202102.002>
- Fernando, W. A. M., Ilankoon, I. M. S. K., Syed, T. H., y Yellishetty, M. (2018). Challenges and opportunities in the removal of sulphate ions in contaminated mine water: A review. *Minerals Engineering*, 117, 74-90. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.12.004>
- Ferro, P., Farfan-Solis, R., Blanco-Shocosh, D., Ferró-Gonzáles, A. L., y Ferro-Gonzales, P. F. (2023). Determination of inorganic chemical parameters in drinking water in districts of the province of Puno in the region Puno-Peru. *Heliyon*, 9(5), e15624. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15624>
- Fuller, R., Landrigan, P. J., Balakrishnan, K., Bathan, G., Bose-O'Reilly, S., Brauer, M., Caravanos, J., Chiles, T., Cohen, A., Corra, L., Cropper, M., Ferraro, G., Hanna, J., Hanrahan, D., Hu, H., Hunter, D., Janata, G., Kupka, R., Lanphear, B., ... Yan, C. (2022). Pollution and health: a progress update. *The Lancet Planetary Health*, 6(6), e535-e547. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00090-0)
- Garcia, J. L., Huaman-Navarro, Y. E., Willems, B. L., Loayza-Muro, R., Moreira-Turcq, P., Wadham, J. L., Macdonald, M. L., y Bustamante, A. (2025). Identifying acid lakes and associated rock exposure in glacial retreat zones in the Peruvian Andes

- using Landsat 8 imagery. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(5), 532.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-025-14006-5>
- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W. M., Scott, J. H. J., y Joy, D. C. (2018). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6676-9>
- Gouveia, E. L., del Valle Montiel, K., y Lozada, J. (2009). El excursionismo como estrategia didáctica para el aprendizaje significativo de la geomorfología en la educación superior. *Omnia*, 15(3), 97-116.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73712297007>
- Hajalilou, B., y Aghazadeh, M. (2016). Geological, Alteration and Mineralization Characteristics of Ali Javad Porphyry Cu-Au Deposit, Arasbaran Zone, NW Iran. *Open Journal of Geology*, 06(08), 859-874.  
<https://doi.org/10.4236/ojg.2016.68066>
- Hedenquist, J. W., y Richards, J. P. (1998). The Influence of Geochemical Techniques on the Development of Genetic Models for Porphyry Copper Deposits. En *Techniques in Hydrothermal Ore Deposits Geology*. Society of Economic Geologists.  
<https://doi.org/10.5382/Rev.10.10>
- Henley, R. W., y Berger, B. R. (2011). Magmatic-vapor expansion and the formation of high-sulfidation gold deposits: Chemical controls on alteration and mineralization. *Ore Geology Reviews*, 39(1-2), 63-74.  
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2010.11.003>
- Hurtado, N., Zegarra, J. A., Cárdenas Cabezas, J., Rivas Montes, N., Saavedra Kovach, M., Sandoval Flores, B., y Lucen Bustamante, M. (2024). On the underestimation of the significance of environmental impacts in Peru: an approach using homogeneous units. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 42(5), 437-452.  
<https://doi.org/10.1080/14615517.2024.2414161>
- Ibarra Chipa, I., Mamani Huisa, M. I., Rodríguez Mejía, R., Sempere, T., Carlotto Caillaux, V. S., y Carlier, G. (2004). Estratigrafía y tectónica de la parte sur de la cuenca de Ayaviri. *Sociedad Geológica del Perú. Publicación Especial*, 5, 143-155. [researchgate.net/publication/282171324](https://www.researchgate.net/publication/282171324)

- Isidro, C. M., McIntyre, N., Lechner, A. M., y Callow, I. (2018). Quantifying suspended solids in small rivers using satellite data. *Science of The Total Environment*, 634, 1554-1562. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.006>
- Jaimes Salcedo, F., y Gerardo Trelles Vásquez. (2021). *Geología de los cuadrángulos de Sandia (hojas 29y1, 29y2, 29y3, 29y4) y San Ignacio (hoja 29z4)* [Boletín Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1: 50 000) N° 7, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET]. [researchgate.net/publication/351986134](https://www.researchgate.net/publication/351986134)
- Johnson, D. B., y Hallberg, K. B. (2005). Acid mine drainage remediation options: a review. *Science of The Total Environment*, 338(1-2), 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.09.002>
- Joseph, C., Gunton, T., y Rutherford, M. (2015). Good practices for environmental assessment. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 33(4), 238-254. <https://doi.org/10.1080/14615517.2015.1063811>
- Kamijo, T. (2022). How to enhance EIA systems in developing countries: a quantitative literature review. *Environment, Development and Sustainability*, 24(12), 13476-13492. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02029-0>
- Kim, H.-C., Son, S., Kim, Y. H., Khim, J. S., Nam, J., Chang, W. K., Lee, J.-H., Lee, C.-H., y Ryu, J. (2017). Remote sensing and water quality indicators in the Korean West coast: Spatio-temporal structures of MODIS-derived chlorophyll-a and total suspended solids. *Marine Pollution Bulletin*, 121(1-2), 425-434. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.026>
- Kondolf, G. M., Gao, Y., Annandale, G. W., Morris, G. L., Jiang, E., Zhang, J., Cao, Y., Carling, P., Fu, K., Guo, Q., Hotchkiss, R., Peteuil, C., Sumi, T., Wang, H., Wang, Z., Wei, Z., Wu, B., Wu, C., y Yang, C. T. (2014). Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents. *Earth's Future*, 2(5), 256-280. <https://doi.org/10.1002/2013EF000184>
- Landrigan, P. J., Fuller, R., Acosta, N. J. R., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N. (Nil), Baldé, A. B., Bertollini, R., Bose-O'Reilly, S., Boufford, J. I., Breyse, P. N., Chiles, T., Mahidol, C., Coll-Seck, A. M., Cropper, M. L., Fobil, J., Fuster, V., Greenstone,



- M., Haines, A., ... Zhong, M. (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*, 391(10119), 462-512. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)
- León Menacho, V., Aguirre, K., Gonzales, A., Herrera, N., León, A., Osorio, D., Quijano, A., y Palacios, E. (2022, agosto). *Acid Mine Drainage Remediation with Small Scale Constructed Wetlands in Ancash Highlands - Perú*. <https://doi.org/10.11159/icnfa22.113>
- Lottermoser, B. (2010). *Mine Wastes*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12419-8>
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., y Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Martínez Carazo, P. C. (2006). El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento & Gestión*, 20, 165-193. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64602005>
- Martínez, H. (2011). *Metodología de la investigación*. Cengage Learning Editores S.A. de C.V.
- Matamet, F. R. M., y Bonotto, D. M. (2019). Sedimentation rates at Ramis River, Peruvian Altiplano, South America. *Environmental Earth Sciences*, 78(6), 230. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8233-0>
- MINAM. (2017). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. En *Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM*. Diario Oficial El Peruano. Ministerio del Ambiente [MINAM]. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/1160033-004-2017-minam>
- Monroy, M., Maceda-Veiga, A., y de Sostoa, A. (2014). Metal concentration in water, sediment and four fish species from Lake Titicaca reveals a large-scale environmental concern. *Science of The Total Environment*, 487, 233-244. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.134>

- Moodley, I., Sheridan, C. M., Kappelmeyer, U., y Akcil, A. (2018). Environmentally sustainable acid mine drainage remediation: Research developments with a focus on waste/by-products. *Minerals Engineering*, 126, 207-220. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.08.008>
- Nakamura, J., Diz, D., y Morgera, E. (2022). International legal requirements for environmental and socio-cultural assessments for large-scale industrial fisheries. *Review of European, Comparative & International Environmental Law*, 31(3), 336-348. <https://doi.org/10.1111/reel.12462>
- Nordstrom, D. K. (2011). Mine Waters: Acidic to Circumneutral. *Elements*, 7(6), 393-398. <https://doi.org/10.2113/gselements.7.6.393>
- Nuñez-Bustamante, E., Césare-Coral, M. F., Cuba Torre, H. R., Nuñez-Bustamante, N., Sempértegui-Rafael, R. M., Cornejo-La Torre, M., Cueva, M. D., Arribasplata-Vargas, M. A., Castro-Pantoja, J. B., y Virú-Vásquez, P. (2025). Characterization and Evaluation of the Efficiency of Organic Amendments and Native Macrophytes for the Treatment of Acid Mine Drainage in Hualgayoc—A Case Study. *Sustainability*, 17(8), 3570. <https://doi.org/10.3390/su17083570>
- Orihuela, J. C., Huaroto, C., y Pérez, C. A. (2021). Pasivos ambientales mineros, salud y agricultura: una primera aproximación espacial. *Revista IECOS*, 18, 238-266. <https://doi.org/10.21754/iecos.v18i0.1184>
- Oro, D., y Martínez-Abraín, A. (2023). Ecological non-equilibrium and biological conservation. *Biological Conservation*, 286, 110258. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110258>
- Pariona-Luque, R., Pacheco, A., Ccama, F., Reyes, R., y Lema, F. (2023). Evaluation of Environmental Management and Conservation of Natural Resources in Tourism Enterprises in Ayacucho, Peru: Workers' Perceptions. *Diversity*, 15(6), 764. <https://doi.org/10.3390/d15060764>
- Pfiffner. (2020). *Encyclopedia of Coastal Science* (C. W. Finkl & C. Makowski, Eds.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-48657-4>

- Piñeiro, X. F., Ave, M. T., Mallah, N., Caamaño-Isorna, F., Jiménez, A. N. G., Vieira, D. N., Bianchini, F., y Muñoz-Barús, J. I. (2021). Heavy metal contamination in Peru: implications on children's health. *Scientific Reports*, *11*(1), 22729. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02163-9>
- Pirajno, F. (1992). Porphyry Systems and Skarns. En *Hydrothermal Mineral Deposits* (pp. 325-374). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-75671-9\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-75671-9_11)
- Quispe Quispe, A. (2024). Evolución en la gestión de los pasivos ambientales mineros en el Perú. *Earth Institute*, *1*, 23-30. <https://doi.org/10.71018/eij.2024.04>
- Ramos, V. A. (2009). Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle. En *Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau Uplift, and Ridge and Terrane Collision*. Geological Society of America. [https://doi.org/10.1130/2009.1204\(02\)](https://doi.org/10.1130/2009.1204(02))
- Ramos, V. A., Dickinson, W. R., y Mahlburg Kay, S. (2009). *Backbone of the Americas : shallow subduction, plateau uplift, and ridge and terrane collision*. Geological Society of America. [https://doi.org/10.1130/2009.1204\(02\)](https://doi.org/10.1130/2009.1204(02))
- Richards, J. P. (2015). Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: From subduction to collision. *Ore Geology Reviews*, *70*, 323-345. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.11.009>
- Rodríguez-de la Rosa, R. A., Velasco-de León, M. P., Arellano-Gil, J., y Lozano-Carmona, D. E. (2018). Middle Jurassic ankylosaur tracks from Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, *70*(2), 379-395. <https://doi.org/10.18268/BSGM2018v70n2a8>
- Rodriguez-Dominguez, M. A., Konnerup, D., Brix, H., y Arias, C. A. (2020). Constructed Wetlands in Latin America and the Caribbean: A Review of Experiences during the Last Decade. *Water*, *12*(6), 1744. <https://doi.org/10.3390/w12061744>
- Rojas-Bardalez, A., Cáceres-Bardalez, G., Julca-Urquiza, R., y Guerra-Saldaña, M. (2022). Evaluación de impacto ambiental de la actividad industrial y su influencia

- en el componente aire de una localidad peruana. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 1(1), e292. <https://doi.org/10.51252/reacae.v1i1.292>
- Rügner, H., Schwientek, M., Milačič, R., Zuliani, T., Vidmar, J., Paunović, M., Laschou, S., Kalogianni, E., Skoulikidis, N. T., Diamantini, E., Majone, B., Bellin, A., Chiogna, G., Martinez, E., López de Alda, M., Díaz-Cruz, M. S., y Grathwohl, P. (2019). Particle bound pollutants in rivers: Results from suspended sediment sampling in Globaqua River Basins. *Science of The Total Environment*, 647, 645-652. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.027>
- Sánchez, J., Lagos, A., Jacay, J., y Chacaltana, C. (2004). Régimen de sedimentación en cuencas distensivas. Las calizas ayabaca durante el cretáceo superior (zonas de Ilave, Acora, Ayabaca, Mazo Cruz) ubicadas en el sur del Perú. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 7(14), 48-53. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8135908>
- Santofimia, E., López-Pamo, E., Palomino, E. J., González-Toril, E., y Aguilera, Á. (2017). Acid rock drainage in Nevado Pastoruri glacier area (Huascarán National Park, Perú): hydrochemical and mineralogical characterization and associated environmental implications. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(32), 25243-25259. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0093-0>
- Seki, H. A., Thorn, J. P. R., Platts, P. J., Shirima, D. D., Marchant, R. A., Abeid, Y., Baker, N., Annandale, M., y Marshall, A. R. (2022). Indirect impacts of commercial gold mining on adjacent ecosystems. *Biological Conservation*, 275, 109782. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109782>
- Sevink, J., Verstraten, J. M., Kooijman, A. M., Loayza-Muro, R. A., Hoitinga, L., Palomino, E. J., y Jansen, B. (2015). Rare Moss-Built Microterraces in a High-Altitude, Acid Mine Drainage-Polluted Stream (Cordillera Negra, Peru). *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(6), 201. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2390-x>
- Shanmukha, N. T., Vinayaka, M., Lokeshappa, B., y Nadaf, S. (2024). *Biodiversity Loss Due to Mining Activities* (pp. 166-191). <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-6950-0.ch011>

- Shetty, S. S., D, D., S, H., Sonkusare, S., Naik, P. B., Kumari N, S., y Madhyastha, H. (2023). Environmental pollutants and their effects on human health. *Heliyon*, 9(9), e19496. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19496>
- Sillitoe, R. H. (2010). Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105(1), 3-41. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3>
- Steinacher, M., Joos, F., y Stocker, T. F. (2013). Allowable carbon emissions lowered by multiple climate targets. *Nature*, 499(7457), 197-201. <https://doi.org/10.1038/nature12269>
- Twiss, R. J. ., y Moores, E. M. . (2007). *Structural geology*. W.H. Freeman.
- Valdez-Nuñez, L. F., Ayala-Muñoz, D., Sánchez-España, J., y Sánchez-Andrea, I. (2022). Microbial Communities in Peruvian Acid Mine Drainages: Low-Abundance Sulfate-Reducing Bacteria With High Metabolic Activity. *Geomicrobiology Journal*, 39(10), 867-883. <https://doi.org/10.1080/01490451.2022.2087808>
- Van Meerbeek, K., Jucker, T., y Svenning, J. (2021). Unifying the concepts of stability and resilience in ecology. *Journal of Ecology*, 109(9), 3114-3132. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13651>
- Verburg, R., Bezuidenhout, N., Chatwin, T., y Ferguson, K. (2009). The Global Acid Rock Drainage Guide (GARD Guide). *Mine Water and the Environment*, 28(4), 305. <https://doi.org/10.1007/s10230-009-0078-4>
- Vriens, B., Peterson, H., Laurenzi, L., Smith, L., Aranda, C., Mayer, K. U., y Beckie, R. D. (2019). Long-term monitoring of waste-rock weathering at the Antamina mine, Peru. *Chemosphere*, 215, 858-869. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.105>
- Wang, C., Li, W., Chen, S., Li, D., Wang, D., y Liu, J. (2018). The spatial and temporal variation of total suspended solid concentration in Pearl River Estuary during 1987–2015 based on remote sensing. *Science of The Total Environment*, 618, 1125-1138. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.196>



- Wu, X., Marshall, L., y Sharma, A. (2019). The influence of data transformations in simulating Total Suspended Solids using Bayesian inference. *Environmental Modelling & Software*, 121, 104493. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104493>
- Yan, J., y Li, F. (2023). Effects of sediment dredging on freshwater system: a comprehensive review. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(57), 119612-119626. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30851-8>
- Younger, P. L. (2001). Mine water pollution in Scotland: nature, extent and preventative strategies. *Science of The Total Environment*, 265(1-3), 309-326. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00673-2](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00673-2)
- Younger, P. L., Banwart, S. A., y Hedin, R. (2002). Mine water, Hidrology, Pollution, Remediation. *Mining Technology*, 110(3), 202-209. [researchgate.net/publication/312549463](https://www.researchgate.net/publication/312549463)
- Zhu, Y., An, F., y Tan, J. (2011). Geochemistry of hydrothermal gold deposits: A review. *Geoscience Frontiers*, 2(3), 367-374. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.05.006>
- Zolnikov, T. R., y Ramirez Ortiz, D. (2018). A systematic review on the management and treatment of mercury in artisanal gold mining. *Science of The Total Environment*, 633, 816-824. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.241>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
<b>GENERAL</b>	<b>GENERAL</b>	<b>GENERAL</b>
¿Cómo caracterizar los efluentes mineros para el monitoreo ambiental del proyecto Yanaorcco -comunidad Saqui-Sina-san Antonio de Putina-Puno?	Caracterizar la presencia de efluentes mineros para el monitoreo ambiental del proyecto Yanaorcco, del distrito de Sina, San Antonio de Putina, Puno.	La caracterización de los efluentes mineros mejora el monitoreo ambiental del proyecto Yanaorcco-comunidad Saqui-San Antonio de Putina-Puno.
<b>ESPECÍFICOS</b>	<b>ESPECÍFICOS</b>	<b>ESPECÍFICOS</b>
¿Como caracterizar la presencia de efluentes mineros para el monitoreo ambiental del proyecto Yanaorcco?	Determinar los parámetros de contaminación de los efluentes mineros para el monitoreo ambiental del proyecto Yanaorcco.	La determinación de parámetros de los efluentes mineros mejorará el monitoreo ambiental.
¿Como Remediar los parámetros que sobrepasan los límites máximos permisibles, mediante el triángulo de Nikola Tesla??	Remediar los parámetros que sobrepasan los límites máximos permisibles, mediante el triángulo de Nikola Tesla.	La remediación de parámetros de los efluentes mineros mejora el monitoreo ambiental mediante el triángulo de Nikola Tesla.

## Anexo 2. Panel fotográfico

### Figura 1

*Tomando muestras de agua bocamina PM 01*



### Figura 2

*Tomando muestras de aguas arriba Río Cunuyo PM 02*



**Figura 3**

*Tomando muestras de aguas abajo del Río Cunuyo PM 03*



**Figura 4**

*Vista Del Río Cunuyo en el proyecto Yanaorcco*



### Anexo 3. Documentos del laboratorio



**MQA LABS**  
MEGALABORATORIOS QUÍMICOS  
DE LOS ANDES S.A.C

**MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C**  
ANÁLISIS DE AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.  
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR  
COMPARACIÓN DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.  
RUC: 20612800741.

---

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

**ASUNTO: ANALISIS FISICO-QUÍMICO.**

PROCEDENCIA : YANAORCCO.  
INTERESADO : RONALD QUIZA VILCA.  
MOTIVO : ANALISIS FISICO – QUIMICO.  
FECHA DE MUESTREO : 20/02/2024(por el interesado).  
FECHA DE ANALISIS : 21/02/2024.

**CARACTERÍSTICAS FISICOS:**

PARAMETROS	UNIDAD	PM 01	PM 02	PM 03	METODOLOGÍA
pH		5.2	7.2	6.9	Potenciómetro

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:**

Sólidos Totales en Suspensión.	mg/L	70.09	18.30	20.60	Evaporación y pesaje
--------------------------------	------	-------	-------	-------	----------------------

**INTERPRETACION:**  
El agua analizada es en iones líquido por lo tanto los resultados serán interpretados en el área correspondiente.



Salomón Justo Morales Yucra  
INGENIERO QUÍMICO  
ANALISTA DE LABORATORIO



Benito Fernández Loapaza  
RUC: 20612800741  
GERENTE

---

Jr. Esmeralda N°193 URB - Villa Florida – a una cuadra del local Pégola - Puno  
Cel. 973296546 – 983003185

#### Anexo 4. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad  
Nacional del  
Altiplano



Vicerrectorado de  
Investigación



Repositorio  
Institucional



Escuela de  
Posgrado

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo **RONALD QUIZA VILCA** identificado(a) con N° DNI: **01318105** en mi condición de egresado(a) del:

**DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

con código de matrícula N° **172332**, informo que he elaborado la tesis denominada:

**CARACTERIZACION DE LOS EFLUENTES MINEROS PARA EL MONITOREO AMBIENTAL DEL PROYECTO YANAORCCO - COMUNIDAD SAQUI - SINA - SAN ANTONIO DE PUTINA-PUNO-PERU**

Es un tema original.

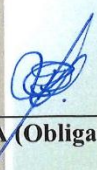
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno, 15 de Septiembre del 2025.

  
FIRMA (Obligatorio)



## Anexo 5. Autorización de depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad  
Nacional del  
Altiplano



Vicerrectorado de  
Investigación



Repositorio  
Institucional



Escuela de  
Posgrado

### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo **RONALD QUIZA VILCA** identificado(a) con N° DNI: 01318105, con código de matrícula N° 172332, en mi condición de egresado(a) del Programa de Maestría o Doctorado: **DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

Informo que he elaborado la tesis denominada:

**CARACTERIZACION DE LOS EFLUENTES MINEROS PARA EL MONITOREO AMBIENTAL DEL PROYECTO YANAORCCO - COMUNIDAD SAQUI - SINA - SAN ANTONIO DE PUTINA-PUNO-PERU**

para la obtención de **[X] Grado**.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno, 15 de Septiembre del 2025.

  
FIRMA (Obligatorio)

