

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Determinación del potencial de generación ácido  
de una relavera en el centro del Perú utilizando  
ensayo mineralógico y químico**

Fanny Ruth Arroyo Avilez  
Diana Ccarhuaypiña Araujo

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

**A** : Dr. Felipe Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Pablo César Espinoza Tumialán  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 11 de marzo de 2024

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN ÁCIDO DE UNA RELAVERA EN EL CENTRO DEL PERÚ UTILIZANDO ENSAYO MINERALÓGICO Y QUÍMICO**", perteneciente a las estudiantes **FANNY RUTH ARROYO AVILEZ DIANA CCARHUAYPIÑA ARAUJO**, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 11 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: ) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



---

PABLO CÉSAR ESPINOZA TUMIALÁN  
Asesor de tesis

Cc.  
Facultad  
Oficina de Grados y Títulos  
Interesado(a)

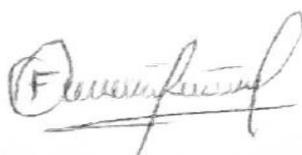
## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, FANNY RUTH ARROYO AVILEZ, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 72361065, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN ÁCIDO DE UNA RELAVERA EN EL CENTRO DEL PERÚ UTILIZANDO ENSAYO MINERALÓGICO Y QUÍMICO", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

20 de 02 de 2024.



---

Fanny Ruth Arroyo Avilez

DNI. No. 72361065

Cc.  
Facultad  
Oficina de Grados y Títulos  
Interesado(a)

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Diana Ccarhuaypiña Araujo, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 71837991, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN ÁCIDO DE UNA RELAVERA EN EL CENTRO DEL PERÚ UTILIZANDO ENSAYO MINERALÓGICO Y QUÍMICO", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

20 de febrero de 2024.



Diana Ccarhuaypiña Araujo

DNI. No. 71837991

Cc.  
Facultad  
Oficina de Grados y Títulos  
Interesado(a)

# DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN ÁCIDO DE UNA RELAVERA EN EL CENTRO DEL PERÚ UTILIZANDO ENSAYO MINERALÓGICO Y QUÍMICO

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>11</b> %	<b>11</b> %	<b>2</b> %	<b>4</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.continental.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2</b> %
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Continental</b> Trabajo del estudiante	<b>1</b> %
<b>3</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>www.researchgate.net</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>5</b>	<b>repository.uaeh.edu.mx</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>6</b>	<b>scielo.sld.cu</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>7</b>	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>8</b>	<b>servicios.minminas.gov.co</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %

9	<a href="https://repositorio.undac.edu.pe">repositorio.undac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="https://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="https://repositorio.unasam.edu.pe">repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="https://repositorio.ug.edu.ec">repositorio.ug.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="https://www.sernageomin.cl">www.sernageomin.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="https://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
17	SRK CONSULTING (PERU) S.A.. "Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Condestable-IGA0009607", R.D. N° 095-2009-MEM/AAM, 2020 Publicación	<1 %
18	<a href="https://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="https://intranet.cip.org.pe">intranet.cip.org.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

20	<a href="http://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://repository.eafit.edu.co">repository.eafit.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://ceep.mil.pe">ceep.mil.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://redaragon.com">redaragon.com</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://repositorio.untels.edu.pe">repositorio.untels.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
26	SCHLUMBERGER DEL PERU S.A.. "Actualización del Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Cuajone-IGA0000334", R.D. Nº 444-2012-MEM-AAM, 2020 Publicación	<1 %
27	<a href="http://depositum.uqat.ca">depositum.uqat.ca</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://repositorio.uchile.cl">repositorio.uchile.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

31	<a href="http://study-assistant.com">study-assistant.com</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://www.uaeh.edu.mx">www.uaeh.edu.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
33	PREVCONSULT PERU E.I.R.L.. "Actualización del Plan de Cierre de Minas de la Planta de Beneficio Hacienda Metalex-IGA0005196", R.D. N° 085-2018-MEM/DGAAM, 2020 Publicación	<1 %
34	PROYECTOS Y ESTUDIOS MUNDIALES DE INVERSION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - PROESMIN S.A.C.. "Plan de Cierre de Minas Detallado para el Proyecto Explotación Minera de Caliza - El Silencio 8-IGA0007092", R.D. N° 128-2017-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2020 Publicación	<1 %
35	SNC LAVALIN PERU S.A.. "Tercera MEIA-D de la Unidad Minera las Bambas-IGA0001512", R.D. N° 016-2018-SENACE-PE/DEAR, 2020 Publicación	<1 %
36	<a href="http://documentop.com">documentop.com</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://info.igme.es">info.igme.es</a>	

39	<a href="https://repositorio.unp.edu.pe">repositorio.unp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="https://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="https://repositorio.upagu.edu.pe">repositorio.upagu.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="https://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
43	<a href="https://repositoriobi.minenergia.gov.co">repositoriobi.minenergia.gov.co</a> Fuente de Internet	<1 %
44	<a href="https://siar.minam.gob.pe">siar.minam.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
45	<a href="https://visorsig.oefa.gob.pe">visorsig.oefa.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
46	"Advances in Human Factors, Business Management and Leadership", Springer Science and Business Media LLC, 2020 Publicación	<1 %
47	WSP PERU S.A.. "Cuarta MEIA-SD del Proyecto de Exploración Minera Racaycocha-IGA0010394", R.D. N° 128-2014-MEM/DGAAM, 2020 Publicación	<1 %
48	<a href="https://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darnos la bendición, sabiduría y guiarnos ya que con su manto nos cubre siempre en los momentos más difíciles de nuestras etapas como estudiantes.

A nuestros padres, hermanas (os) quienes apoyaron moralmente, en cada fase de nuestra etapa estudiantil, por habernos dado su confianza y apoyo en todo momento de nuestra etapa universitaria, por estar ahí cuando más los necesitamos y el apoyo continuo, por inculcarnos todos los valores de honestidad, respeto, puntualidad para sobresalir en nuestra vida cotidiana.

A los docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental quienes desde los inicios de nuestra etapa estudiantil universitaria supieron formar personas con un conocimiento innovador y tecnológico que hoy en día ponemos en práctica y venimos gozando la satisfacción del éxito.

**Fanny Ruth, Arroyo Avilez y Diana Ccarhuaypiña Araujo.**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación va dedicado primeramente a Dios y a mi familia porque ellos supieron guiarme en cada paso que doy y me han llenado de bendiciones. A mis hermanas por haberme brindado todo su apoyo, me han enseñado que con humildad y mucho esfuerzo puedo conseguir todo lo que me proponga, gracias por su amor infinito.

**Fanny Ruth Arroyo Avilez**

Especialmente a Dios, el que durante toda mi carrera universitaria siempre ha estado para mí, me ha sostenido en todo momento y ha guiado todo mi camino para ser la persona que soy hoy en día. A mi familia por el apoyo continuo y la enseñanza de crecimiento profesional y el amor infinito que me dieron.

**Diana Ccarhuaypiña Araujo**

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	ix
<b>DEDICATORIA</b> .....	xi
<b>ÍNDICE</b> .....	xii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xv
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xvi
<b>RESUMEN</b> .....	xvii
<b>ABSTRACT</b> .....	xviii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	xix
<b>CAPÍTULO I</b> .....	21
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....	21
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	21
1.1.1. Problema general.....	21
1.1.2. Problemas específicos.....	21
1.2. Objetivos.....	21
1.2.1. Objetivo general.....	21
1.2.2. Objetivos específicos.....	22
1.3. Justificación e importancia.....	22
1.3.1. Justificación ambiental.....	22
1.3.2. Justificación social.....	22
1.3.3. Justificación económica.....	22
1.3.4. Justificación teórica.....	22
1.4. Hipótesis y descripción de variables.....	22
1.4.1. Hipótesis de la investigación.....	22
1.4.2. Operacionalización de las variables.....	23
<b>CAPÍTULO II</b> .....	25
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	25
2.1. Antecedentes del problema.....	25
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	25
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	28

2.2. Bases teóricas.....	29
2.2.1. Potencial de generación ácido .....	29
2.2.2. Generación de drenaje minero (DM).....	30
2.2.3. Análisis mineralógico de relavera .....	34
2.2.4. Análisis geoquímico de relavera.....	34
2.2.5. Potencial de hidrógeno en pasta (pH).....	35
2.2.6. Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero -metalúrgicas. ....	36
2.3. Definición de términos básicos.....	37
2.3.1. Relaves mineros.....	37
2.3.2. Potencial de hidrógeno (pH).....	37
2.3.3. Potencial de hidrógeno en pasta .....	37
2.3.4. Minerales	37
2.3.5. Concentración de minerales.....	37
2.3.6. Análisis mineralógico .....	38
2.3.7. Análisis geoquímico .....	38
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>39</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>39</b>
3.1. Método y alcance de la investigación.....	39
3.1.1. Método de la investigación.....	39
3.1.2. Tipo de investigación.....	39
3.1.3. Nivel de investigación .....	39
3.2. Diseño de la investigación .....	39
3.3. Población y muestra.....	39
3.3.1. Población .....	39
3.3.2. Muestra .....	39
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	39
3.4.1. Técnicas de recolección de datos.....	39
3.4.2. Técnicas de análisis de datos .....	40
3.5. Procedimientos.....	40
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>42</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>42</b>
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	42
4.1.1. Composición mineralógica de una relavera en el centro del Perú.....	42

4.1.2. Potencial de hidrógeno en pasta de una relavera en el centro del Perú. ....	47
4.1.3. Concentración de fierro sulfurado de una relavera en el centro del Perú. ....	47
4.1.4. Potencial de acidez máximo de la relavera.....	47
4.2. Prueba de hipótesis .....	49
4.2.1. Hipótesis general .....	49
4.2.2. Hipótesis específica (He).....	49
4.3. Discusión de resultados .....	50
<b>CONCLUSIONES</b> .....	52
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	53
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	54
<b>ANEXOS</b> .....	60
<b>Anexo 1.</b> Análisis mineralógico .....	60
<b>Anexo 2.</b> Análisis geoquímico.....	66
<b>Anexo 3.</b> Análisis de potencial de hidrógeno en pasta .....	67
<b>Anexo 4.</b> Análisis de concentración de fierro sulfurado.....	69
<b>Anexo 5.</b> Panel fotográfico .....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de variables .....	23
<b>Tabla 2.</b> Tipos de drenaje ácido .....	30
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de aguas residuales de mina en función al pH. ....	31
<b>Tabla 4.</b> Clasificación ácida/base (roca) mediante ensayos estáticos .....	33
<b>Tabla 5.</b> Límites máximos permisibles minero metalúrgicos .....	36
<b>Tabla 6.</b> Minerales observados para análisis modal.....	42
<b>Tabla 7.</b> Distribución volumétrica y grado de liberación.....	43
<b>Tabla 8.</b> Tipos geométricos de entrelazamiento de minerales y sus posibilidades de liberación completa.....	44
<b>Tabla 9.</b> Volúmenes y grados de liberación .....	45
<b>Tabla 10.</b> Análisis geoquímico.....	46
<b>Tabla 11.</b> Análisis de potencial de hidrógeno en pasta .....	47
<b>Tabla 12.</b> Análisis de hierro .....	47
<b>Tabla 13.</b> Valores porcentuales de la pirita de la muestra .....	48
<b>Tabla 14.</b> Valor porcentual de la pirita tomando en cuenta la masa atómica .....	48
<b>Tabla 15.</b> Potencial de acidez máximo (PAM)de la relavera en estudio .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Minerales Generadores y neutralizadores de acidez. Fuente: (36).....	34
<b>Figura 2.</b> Primer criterio de evaluación de generación de acidez. Fuente: Adaptado de (40).....	35
<b>Figura 3.</b> Segundo criterio de evaluación de generación de acidez. Fuente: Adaptado de (40). ....	35

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque preventivo con criterio ambiental, para ello se realizó la determinación del potencial de generación ácido de una relavera en el centro del Perú, planteándose los siguientes objetivos específicos: (i) analizar la composición mineralógica (ii) determinar el potencial de hidrógeno en pasta y (iii) determinar la concentración de fierro sulfurado; el método utilizado fue el científico, de tipo aplicado y nivel descriptivo de diseño no experimental transeccional, cuya población fue una relavera del centro del Perú ubicado en el distrito de Morococha, de la provincia de Yauli, región Junín, con respecto a los análisis químicos y mineralógicos estuvieron a cargo de laboratorios reconocidos por INACAL; como resultados para el análisis mineralógico la pirita ocupó la mayor presencia con un 52.06% del volumen total de la muestra, de este volumen el 98.24% se halla libre, permaneciendo aun entrelazada el 1.76% restante, además en el análisis geoquímico se observa que el arsénico, cobre, hierro, plomo y zinc con valores de 1.435mg/L, 2.1 mg/L, 50 mg/L y 9.5 mg/L respectivamente son altos; con respecto al pH los valores hallados en promedio es de 6.9 ligeramente ácido a neutro; en conclusión existe un potencial de generación de acidez positivo a futuro, observándose valores altos de potencial de acidez de 222.13 Kg. CaCO<sub>3</sub>/TM y 227.79 Kg. CaCO<sub>3</sub>/TM, para las muestras tomadas, con un porcentaje de azufre sulfurado 7.11% y 7.29%, por lo tanto, se recomienda tomar medidas de prevención y/o mitigación ambiental para preservar el medio ambiente.

Palabras claves: generación de acidez, análisis mineralógico, análisis geoquímico, pH en pasta.

## ABSTRACT

The present research work has a preventive approach with environmental criteria, for this purpose the determination of the acid generation potential of a tailings dam in central Peru was carried out, setting the following specific objectives: (i) analyze the mineralogical composition (ii) determine the hydrogen potential in the paste and (iii) determine the concentration of sulfide iron; The method used was scientific, of applied type and descriptive level of non-experimental transectal design, whose population was a tailings dam in central Peru located in the district of Morococha, in the province of Yauli, Junín region, with respect to chemical analyzes and mineralogical studies were carried out by laboratories recognized by INACAL; As results for the mineralogical analysis, pyrite occupied the greatest presence with 52.06% of the total volume of the sample, of this volume 98.24% is free, the remaining 1.76% still remaining intertwined, in addition in the geochemical analysis it is observed that the arsenic, copper, iron, lead and zinc with values of 1,435mg/L, 2.1 mg/L, 50 mg/L and 9.5 mg/L respectively are high; With respect to pH, the values found on average are 6.9, slightly acidic to neutral; In conclusion, there is a potential for generating positive acidity in the future, observing high values of acidity potential of 222.13 Kg. CaCO<sub>3</sub>/TM and 227.79 Kg. CaCO<sub>3</sub>/TM, for the samples taken, with a percentage of sulfide sulfur 7.11% and 7.29 %, therefore, it is recommended to take prevention and/or environmental mitigation measures to preserve the environment.

Keywords: acidity generation, mineralogical analysis, geochemical analysis, pH in paste.

## INTRODUCCIÓN

La generación de drenaje ácido en las relaveras ocurre debido a diversos factores tales como el tiempo, la exposición y oxidación de minerales sulfurados que se encuentran en la intemperie, lo cual involucra oxidación química y biológica, que traen efectos a nivel fisicoquímico, que si no se toman medidas preventivas pueden afectar al medio ambiente (1). El Perú es un país que tiene una orografía y estructura andina única, que contiene minerales de gran importancia, como el cobre, oro, plata, plomo, zinc, entre otros que actualmente se explotan y además generan ingresos y divisas para el país, reportándose que la exportación representa un 56.4% en minerales metálicos y el 2.1 % de minerales no metálicos (2). Las explotaciones o extracciones de minerales generan relaves mineros cuyas aguas ácidas contaminan el medio ambiente, cuando no están adecuadamente tratados e incumplen normas ambientales vigentes (3). Los drenajes ácidos en la minería, poseen grandes cantidades de sólidos suspendidos, con contenidos de sulfatos y metales pesados como el: Fe, Zn, Mn, Pb, Cu, entre otros cuyas concentraciones alcanzan altas cantidades en mg/L. de contaminantes nocivos principalmente para la actividad biológica del agua (4). El drenaje ácido minero representa un problema principal de contaminación ambiental asociado a la industria minera, los minerales sulfurados que están presentes en las rocas presentan elevadas concentraciones de sulfato, metales disueltos y acidez (5). Por tanto, la contaminación ambiental asociado a la minería resulta un problema y este es el drenaje ácido generado (6). La pirita es la principal responsable de la formación de aguas ácidas, juntamente con otros factores como el volumen, la concentración, el tamaño de grano y la distribución espacial (7). Cabe mencionar que los valores de pH de drenajes mineros de relaves oscilan principalmente entre 2 a 4 (8). Por otro lado, el agua con un pH bajo es producida por un proceso natural en el que la percolación hídrica aeróbica por un substrato que contenga sulfuro de hierro activo (9), además que de forma tradicional el potencial contaminador de los drenajes ácidos mineros se ha afrontado mediante la aplicación de tecnologías físico-químicas como la neutralización química, el intercambio iónico, la ósmosis inversa, los tratamientos pasivos, los sistemas de producción de alcalinidad y en las últimas décadas los procesos de biosorción (10). (4) menciona, que una caracterización exacta del drenaje ácido es importante para efectuar la correcta selección y dimensionamiento de todas las operaciones en conjunto del tratamiento pasivo y los parámetros químicos como el pH in situ, pH en laboratorio, alcalinidad total, acidez o alcalinidad neta (expresadas como  $\text{CaCO}_3$ ). Por todo lo vertido, en la presente investigación, nos planteamos determinar el potencial de generación ácido de una relavera en el centro del Perú utilizando ensayo mineralógico y químico.

En el capítulo I, se presenta el planteamiento del estudio, los objetivos, la justificación e importancia y por último se describe las hipótesis y descripción de las variables, el estudio de investigación comprende los siguientes capítulos:

En el capítulo II de la investigación se encuentra el marco teórico que consta de los antecedentes del problema planteado, bases teóricas y la definición de los términos básicos.

En el capítulo III, se puede apreciar el método y alcance de la investigación, diseño de la investigación, la población y muestra, así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Por último, tenemos al capítulo IV, se presentan los resultados y discusión de la investigación. Finalmente podemos apreciar las conclusiones, revisión bibliográfica y los anexos que avalan la ejecución de la presente investigación.

Las autoras

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

La generación de potencial de acidez en las relaveras de centros mineros, es consecuencia de diversos factores propios de las actividades mineras que al estar en contacto con el aire y agua se originan oxidación de minerales sulfurosos, que pueden afectar el medio ambiente, frente a ello se debe proceder a establecer controles de criterio preventivo y ambiental, a través de pruebas de predicción de drenajes ácidos y posterior a ello tomar medidas correctivas (11). La minería es una actividad económica de gran importancia a nivel global, pero los desechos que generan esta actividad son nocivos para los ecosistemas que se encuentran alrededor a estas zonas mineras (12). Estos desechos o residuos se almacenan en depósitos de desmontes y relaves, cuyos residuos generalmente suelen contener sulfuros que con el contacto del aire y agua sufren cambios fisicoquímicos y biológicos, los cuales dan como resultado la formación de drenajes ácidos (13). Para predecir el drenaje ácido minero se realizan ensayos químicos estandarizados tales como la caracterización mineralógica/texturales y ensayos estáticos y cinéticos con la finalidad de determinar el grado de acidez del relave y se puede aplicar en distintos contextos geo mineros metalúrgicos(14). Bajo esa premisa se plantea el problema general de la presente investigación: ¿Cuál será el potencial de generación ácido de una relavera en el centro del Perú utilizando ensayo mineralógico y químico?, esto a raíz de que en la región central del Perú existen innumerables centros mineros que requieren de estos estudios para tomar acciones de mitigación de estos relaves o depósitos que existen en cada centro de explotación minera.

#### 1.1.1. Problema general

¿Cuál es el potencial de generación ácido de una relavera en el centro del Perú utilizando ensayo mineralógico y químico?

#### 1.1.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cuál es la composición mineralógica de una relavera en el centro del Perú?
- ✓ ¿Cuál es el potencial de hidrógeno en pasta de una relavera en el centro del Perú?
- ✓ ¿Cuál es la concentración de fierro sulfurado de una relavera en el centro del Perú?

### 1.2. Objetivos

#### 1.2.1. Objetivo general

Determinar el potencial de generación ácido de una relavera en el centro del Perú a partir de ensayos mineralógico y químico.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Analizar la composición mineralógica de una relavera en el centro del Perú.
- ✓ Determinar el potencial de hidrógeno en pasta de una relavera en el centro del Perú.
- ✓ Determinar la concentración de fierro sulfurado de una relavera en el centro del Perú.

## 1.3. Justificación e importancia

### 1.3.1. Justificación ambiental

Las evaluaciones realizadas contribuyen al conocimiento para determinar el potencial de generación ácida en relaveras mineras, cuyos resultados servirán para aplicar medidas de prevención y/o mitigación ambiental, permitiendo la preservación del medio ambiente.

### 1.3.2. Justificación social

Es de vital importancia conocer el potencial de generación de ácido de las relaveras mineras, con la finalidad de prevenir impactos ambientales negativos, de esta manera se ayudarán a mejorar el clima social entre la empresa minera y el entorno social, previniendo conflictos ambientales con criterios preventivos.

### 1.3.3. Justificación económica

Se justifica económicamente porque al aplicar medidas de prevención de la generación ácida en relaveras mineras, resultaría beneficioso debido a que se podría prevenir posteriores costos de mitigación o tratamiento de aguas ácidas a un costo económico, social y ambiental más elevados.

### 1.3.4. Justificación teórica

Los procedimientos planteados en la investigación son confiables con ello se pretende analizar, describir e interpretar los resultados, entre los ensayos estáticos más utilizados se tiene la relación ácido base (acid-base accounting ABA), Generación Neta de Ácido (NAG), entre otros y de laboratorio como los análisis mineralógicos, potencial de hidrógeno en pasta y geoquímicos.

## 1.4. Hipótesis y descripción de variables

### 1.4.1. Hipótesis de la investigación

Ho: El potencial de generación ácido de una relavera en el centro del Perú es negativo, utilizando datos de ensayo mineralógico y químico.

Ha: El potencial de generación ácido de una relavera en el centro del Perú es positivo, utilizando datos de ensayo mineralógico y químico.

Hipótesis específicas (He)

He 1: Se puede diferir que la composición mineralógica de una relavera en el centro del Perú, predice un potencial de generación ácido positivo.

He 2: Se puede diferir que el análisis del potencial de hidrógeno en pasta de una relavera en el centro del Perú, predice un potencial de generación ácido positivo.

He 3: Se puede diferir que la concentración de fierro sulfurado de una relavera en el centro del Perú, predice un potencial de generación ácido positivo.

#### 1.4.2. Operacionalización de las variables

**Tabla 1.** Operacionalización de variables

VARIABLES		DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable independiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Composición mineralógica,</li> <li>pH en pasta y</li> <li>contenido de fierro sulfurado</li> </ul>	<p>El análisis mineralógico es una técnica para determinar el contenido minerales presentes en una muestra determinada.(14)</p> <p>El fierro sulfurado, el mineral que se puede encontrar con mayor facilidad es el sulfuro de hierro más conocido como la pirita (FeS<sub>2</sub>)(15)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Análisis mineralógico</li> <li>✓ Análisis geoquímico</li> <li>✓ Concentración de fierro sulfurado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Distribución volumétrica y grado de liberación</li> <li>✓ Partes por millón y %</li> <li>✓ Partes por millón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Porcentaje (%)</li> <li>✓ ppm y %</li> <li>mg/Kg</li> </ul>

Variable dependiente	<p>✓ Potencial de generación ácido.</p>	<p>Son técnicas que permiten realizar medidas sobre la generación del drenaje ácido minero (DAM) y el seguimiento para determinar los factores involucrados en la generación del potencial, el cual se puede evaluar al inicio de la explotación, de forma periódica hasta el cierre y post cierre de la operación minera (16).</p>	<p>✓ Consumo de neutralizante CaCO<sub>3</sub> por TM (tonelada métrica) de relave</p>	<p>✓ CaCO<sub>3</sub> (kg/TM).</p>	<p>✓ Kg/TM</p>
----------------------	---	---	--	------------------------------------	----------------

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del problema

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

En la investigación titulado: “Evaluación de drenaje ácido de mina (AMD) a partir de relaves y su valorización por recuperación de cobre”, su objetivo fue evaluar el potencial de generación de drenaje de mina en una muestra de relave, la metodología utilizada fue sistémica y se determinó el ácido potencial de drenaje de mina (AMD) y la disolución de elementos potencialmente tóxicos (PTEs) mediante la extracción secuencial de soluciones, como resultado se obtuvo que los relaves contienen aproximadamente 3.7% de pirita ocluida en silicatos y por lo tanto no son de alto riesgo para generar drenaje ácido y disolución de las PTE (17).

En el estudio titulado: “Perspectivas sobre el efecto del grado de liberación de pirita sobre el potencial de drenaje ácido de mina de relaves de flotación de sulfuro”, su objetivo fue calcular el potencial ácido efectivo de los relaves teniendo en cuenta el grado de pirita y su grado de liberación, la metodología realizar pruebas geoquímicas (estáticas y cinéticas) en las muestras recolectadas de relaves después de la flotación, además se utilizó la mineralogía automatizada basada en un microscopio electrónico de barrido utilizando el sistema en términos de mineralogía modal, grado de liberación y tamaño de partícula, para determinar el potencial absoluto de generación de ácido (AP) utilizaron el método de Sobek, obteniendo como resultado: que cuando la pirita está encerrada en minerales de ganga no reactivos, está puede conducir desfavorablemente a mayores costos de manejo de relaves, recomendando una desulfuración ambiental por flotación (18).

En la investigación titulado: “Evaluación del potencial generador de ácido de mina en jales mineros del estado de Zacatecas”, su objetivo fue estudiar el potencial generador de ácido de mina en jales mineros de Sombrerete Zacatecas, la metodología que utilizaron fue la caracterización por microscopía electrónica (SEM) y el balance ácido-base, los resultados que mostraron fue que los jales mineros tienen un pH de 7.2, con respecto concentración de los elementos potencialmente tóxicos (EPT's) como el Cu, Zn, As, Cd y Fe, sobrepasaron los límites establecidos por la norma SEMARNAT, representando un riesgo ambiental. Con respecto al balance ácido-base (PN/PA=0.24) se puede deducir que los jales mineros tienen un alto potencial generador de ácido, del mismo modo el 3.7% de pirita se encuentra ocluida en la ganga (silicatos), sugiere que esta fase de

sulfuro no podría oxidarse fácilmente por el oxígeno y humedad, evitando la producción de ácido de mina (19).

En la investigación titulado: “Potencial de generación de ácido y cinética de la liberación de metal (loide) a partir de residuos mineros sulfurosos resuspendidos” su objetivo fue determinar el potencial de generación de ácido y la movilización de metaloides, en la metodología utilizaron cuatro muestras de desechos de minas sulfurosas, para determinar el potencial de ácido, se realizaron experimentos cinéticos y estáticos, también realizó una prueba de lixiviación dependiente del pH para analizar la influencia del tiempo y la liberación del metaloide, obtuvieron como resultado la presencia de minerales sulfurados (pirita y esfalerita) tanto como partículas libres e incrustadas dentro de otros minerales (cuarzo), se exhibió un alto potencial de generación de ácido, con un valor de  $\text{pH} < 3$ , en conclusión las muestras evaluadas muestran un alto potencial de generación de ácido y una alta liberación de metaloides (20).

En la investigación titulado: “Caracterización física, química y mineralógica de un antiguo relave, en busca de alternativas de reutilización”, tuvo como objetivo la caracterización físico, químico y mineralógico de relaves almacenados en el antiguo dique de colas de Andacollo -Argentina, con fines de reutilización, para la composición elemental utilizaron la metodología IPC-MS, así mismo para determinar los valores de pH, conductividad utilizaron un medidor de pH marca Orión 420-A equipado con electrodos, y para la porosidad, densidad real y aparente utilizaron el protocolo de Richards & Cockroft, con respecto a los resultados indicaron que existe una baja probabilidad de generación de drenajes ácidos, y de contenidos metálicos. El arsénico (As) resultando que es el único elemento en concentraciones por encima de los LMP, en conclusión frente a un plan de restauración, los valores hallados de densidad aparente y porosidad podrían ser favorables para el crecimiento de la vegetación (21).

En un estudio titulado: “Predicción de Drenaje Ácido de Mina, Jales de la Mina La Prieta, Chihuahua, México”, tuvo como objetivo predecir si los jales son generadores de drenaje ácido, con respecto a la metodología se caracterizó muestras de jales y la determinación de la posibilidad de generar acidez, los sulfatos y azufre totales se determinaron mediante los métodos turbidimétrico e infrarrojo, respectivamente, como resultado obtuvieron los valores de pH siendo ligeramente alcalino (7.8-8.4), además la concentración de azufre total resultó por debajo del límite permisibles corroborado por el equipo Leco S-144DR y las concentraciones de azufre en forma de sulfatos fueron mínimas. Realizada la caracterización mineralógica sólo en tres muestras se encontró pirita, y en bajos porcentajes. Los

minerales calcita y dolomita presentes en el yacimiento tipo skarn intervienen en la neutralización del drenaje ácido y disminuyen la movilidad de la mayoría de los metales y metaloides tóxicos (22).

En la investigación titulada: "Predicción del drenaje ácido de mina: dónde estamos", consideran que el objetivo es la determinación de sulfuros de hierro estériles y residuales (p. ej., pirita y pirrotita), la metodología que utilizaron fue la predicción a través de pruebas de laboratorio y/o de campo multi escala, como pruebas estáticas, pruebas de lixiviación en columna, celdas de humedad y/o pruebas de campo, obteniendo como resultado que las pruebas estáticas muestran resultados contradictorios para la misma muestra, razón por la cual las pruebas estáticas se pueden utilizar como indicador preliminar, sin embargo las pruebas cinéticas se utilizan para proporcionar información sobre la reactividad de los minerales y las tasas de liberación de especies químicas, en conclusión desde una perspectiva de economía circular, la valorización de los residuos mineros es superior a la gestión convencional (23).

En el estudio titulado: "Evaluación experimental y numérica del grado crítico de saturación", tuvo como objetivo evaluar la influencia combinada de la mineralogía y grado de saturación en el tiempo antes de que los relaves filtrados comiencen a generar drenaje minero ácido (DAM), la metodología que utilizaron para la caracterización física, química, hidrogeológica y mineralógica de diferentes relaves, fueron pruebas cinéticas de laboratorio, calibración y validación de simulaciones numéricas de transporte reactivo y extrapolaciones para los análisis numéricos, como resultado encontraron que el DAM comenzó cuando se agotaron los carbonatos y que el tiempo crítico, el grado de saturación estuvo por encima del 90% el cual contribuye al retraso la generación de DAM, por ello el grado de saturación es directamente proporcional al tiempo crítico, en conclusión si se mezclan los relaves reactivos con otros relaves que tienen un mayor potencial de neutralización el retraso será máximo entre las dos capas y el tiempo crítico (24).

En la investigación titulada: "Modelado geoquímico, mineralógico y geoestadístico de un IOCG depósito de relaves (El Buitre, Chile): Implicaciones para la seguridad ambiental y el potencial económico", su objetivo la caracterización mineralógica, geoquímica y modelado geoestadístico de un yacimiento de óxido de hierro, cobre y oro con pH neutro, en un clima árido, como metodología modelaron la interpolación espacial co-kriging permitiendo determinar la distribución de concentraciones de elementos de interés en el yacimiento, resultó que el bajo flujo de agua y la pasta de pH casi neutro restringieron la movilidad de los elementos químicos, limitando el desarrollo de la fuente de oxidación inhibiendo la aparición

de una zona de enriquecimiento mineral secundario y la precipitación de sales eflorescentes secundarias en la superficie de los relaves, en conclusión los depósitos de relaves tuvieron gran influencia en la distribución vertical y horizontal de la pirita, además de ello los elementos de interés económico como Fe, Cu y Co están distribuidos de manera uniforme, lo que facilitaría la aplicación de tecnologías de procesamiento de relaves (25).

En la investigación titulada: “Determinación del potencial de formación de ácido de minerales sulfurados masivos y los relaves situados en el distrito minero de plomo/zinc de Balya (NW Turkey), el objetivo fue la caracterización de sulfuro en relaves situados y formados alrededor de un sitio minero para asegurar un medio ambiente sostenible, la metodología que manejaron fue la aplicación de pruebas estáticas convencionales de contabilidad Ácido-Base (ABA) y Generación Neta de Ácido (NAG) después del análisis químico y mineralógico, el resultado que obtuvieron con respecto a los minerales de sulfuro se clasificaron como potencialmente formadores de ácido (PAF), además que la pirita masiva arrojó el valor de pH más alto de NAPP y NAG con 1966,6 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/ton y 1,91, respectivamente, así mismo la galena tuvo el valor de NAPP más bajo de 558,9 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/ton. Sin embargo, el valor de pH del lixiviado NAG de esfalerita fue de 4,30, cuyo valor es el más alto entre los minerales de sulfuro, por lo que la esfalerita se trazó cerca del límite de referencia de incertidumbre en la zona PAF. En los relaves mineros se determinaron valores de NAPP de 105,9 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/ton en promedio y valores de pH de NAG superiores a 7,5, en conclusión, los relaves no generaron lixiviados ácidos ya que se encuentran sobre roca caliza que neutraliza la acidez (26).

#### 2.1.2. Antecedentes nacionales

En la tesis titulada: “Generación de acidez por la presencia de sulfuros en el futuro tajo del proyecto minero “El Galeno”, tuvo como objetivo determinar la capacidad de generar drenaje ácido en el futuro tajo del proyecto minero “El Galeno”, la metodología que utilizaron fue el análisis de mineralogía y litología de las muestras, encontrando como resultado que la litología de las muestras de roca está constituida principalmente de arenisca, determinando un pH bajo debido a que la disolución de los sulfuros es más rápida en arenisca que en pórfido y cuarcita, además se encontró alteración fílica generando mayor potencial de generar ácido; por ello en este tipo de alteración se encuentra el mineral pirita (FeS<sub>2</sub>), estando presente dentro del área de estudio, por otro lado las pruebas indican alta lixiviación de metales pesados disueltos especialmente de As, Fe, Si, Al, Zn, Cu, Pb, por ello un drenaje ácido con altos contenidos de metales acidifican los suelos, ríos, lagunas alterando la

estabilidad del medio ambiente, en conclusión la presencia de lluvias, favorecen la generación de drenaje ácido; ya que estas intervienen en la infiltración y lixiviación, además que la baja del pH aumentan las concentraciones de metales presentes en los relaves (27).

En la tesis titulada: “Medición del potencial de generación de agua ácida para un relave en la zona central del Perú y sus necesidades de neutralización”, el objetivo fue determinar la capacidad de relave depositado en la zona del centro del Perú de generar agua ácida a través de ensayos a escala y las formas de neutralizaciones posibles, la metodología que utilizó fue los métodos de predicción de la generación ácida basándose en ensayos analíticos de tipo estático y cinético, los resultados fueron que las muestras evaluadas tienen un mayor contenido de especies neutras, en un rango de 50 - 97% de peso, mientras que las especies de tipo básico y las de tipo ácido están presentes en menor cantidad, entre 0 y 33% las básicas y entre 2.7 y 17% las ácidas, además de ello se encontraron valores de elementos que pueden presentar algún potencial de contaminación tales como el Fe, Pb, As, Mn, Sb, entre otros (28).

En la tesis titulada: “Evaluación ambiental mediante la potencialidad de generación de drenaje ácido en relaveras de la Compañía Minera Alpamarca S.A.C. de los años 2015 y 2017”, su objetivo fue identificar los niveles de la evaluación ambiental mediante la potencialidad de generación de drenaje ácido, la metodología que utilizaron fue la descripción de forma cualitativa de la evaluación ambiental mediante la potencialidad de generación de drenaje ácido con el test ABA y test NAG, como resultado obtuvieron que el relave evaluado en dos etapas tiene un riesgo ambiental bajo para el test ABA, riesgo medio para el test de NAG para la generación de drenaje ácido (29).

En la investigación titulada: “Técnicas de prevención y control de la generación ácida en minería”, tuvo como objetivo describir técnicas de caracterización geoquímica de materiales y residuos mineros para predecir la generación ácida, la metodología que utilizó fue la descripción de la caracterización geoquímica de sólidos con pruebas estáticas, análisis mineralógico determinación del pH en pasta y balance ácido/base (ABA), como resultado dan a conocer que para la caracterización de residuos mineros y control de la acidez, como mínimo se debe realizar estudios de geoquímica, análisis mineralógico y por lo general se recurre al test de ABA (Acid-Base Account) lo que permitirá tomar medidas preventivas para el control y reducir este riesgo ambiental (13).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Potencial de generación ácido**

Para la determinación del potencial de generación ácido, en la actualidad existen protocolos ambientales que se realizan a nivel de laboratorio incluyendo pruebas estandarizadas, test de ensayos estáticos (pH en pasta, balance ácido base o test de generación neta de acidez, además de los ensayos cinéticos como celdas de humedad estándares o modificadas (30). Sin embargo estos tipos de análisis deberían ir acompañados con estudios mineralógicos y texturales, esto debido a que los test químicos no siempre reflejan lo que ocurre en realidad y no aporten información confiable (31).

### 2.2.2. Generación de drenaje minero (DM)

El drenaje minero es el efluente generado a causa de la interacción entre las fuentes potencialmente generadoras y los factores ambientales (32)

Para que se genere el drenaje minero es necesario que en las relaveras estén presentes minerales sulfurados en especial la pirita, pero no menos importante otras formas también reactivas como la pirrotita y la marcasita, además de ello otra señal puede ser la alta gravedad específica, en relaveras de minerales metálicos se encuentran principalmente minerales de silicato o carbonato con gravedad específica (Gs) de 2.65-2.85, por el contrario los relaves altos en sulfuros por lo general superan este rango, con una gravedad específica encima de los 3.5, cabe mencionar que en relaves polimetálicos peruanos es normal que contengan de 10 a 60% de pirita (33). Se considera drenaje ácido en el caso de que el pH es menor a 6 con elevada cantidad de sulfatos por lo general van acompañados de un contenido significativo de metales disueltos, también existen los drenajes mineros neutros (DMN) donde el pH es cercano a "0" con elevada concentración de metales en la solución y drenaje minero alcalino (DMAL) cuyo rango de pH es mayor a 6, además podemos mencionar al drenaje minero salino (DMS), el cual contiene elevados niveles de sulfato con rangos de pH cercanos al neutro sin carga significativa de metales en la solución, constituyéndose principalmente de sulfato, magnesio y calcio.

#### a) Tipos de drenaje ácido

Teniendo en cuenta el pH, contenido de oxígeno y presencia de metales pesados, los drenajes de mina se pueden clasificar en 5 tipos (Tabla 2) (34).

**Tabla 2.** Tipos de drenaje ácido

TIPO	pH	DESCRIPCION
I	<4.5	Alta concentración de Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, y otros metales.

		Alto contenido de oxígeno. Muy ácido (Drenaje Ácido de mina)
II	<6.0	Alta cantidad de sólidos disueltos. Alta concentración de ion ferroso (Fe <sup>2+</sup> ) y Mn. Bajo contenido de oxígeno. Por oxidación, el pH del agua baja drásticamente hasta convertirse en Tipo I.
III	>6.0	Moderada a alta cantidad de sólidos disueltos. Bajo a moderado contenido de ion ferroso (Fe <sup>2+</sup> ) y Mn. Bajo contenido de oxígeno. Alta alcalinidad (llamado Drenaje Alcalino de Mina). Por oxidación de metales la acidez generada es neutralizada por la alcalinidad presente en el agua.
IV	>6.0	Alta cantidad de partículas disueltas. Drenaje neutralizado, pero todavía no se han fijado los hidróxidos en el agua. A mayor tiempo de residencia en las balsas mayor fijación de partículas y el agua puede llegar a ser similar al de tipo V.
V	>6.0	Agua del drenaje es neutralizado. Alta cantidad de sólidos disueltos. Gran cantidad de hidróxidos precipitados y fijados en las balsas. Cationes restantes son disueltos por Ca y Mn. Oxi-aniones solubles como bicarbonato y sulfato quedan en la solución.

Fuente: (34)

Con respecto a la clasificación de drenajes mineros en función al pH (Tabla 3), se tiene en cuenta los factores medio ambientes tales como clima, efluentes de la mina entre otros, por ello se realizan muestreos de agua y sedimentos para determinar los parámetros como el pH, contenido de oxígeno entre otros (35).

**Tabla 3.** Clasificación de aguas residuales de mina en función al pH.

Clase	Potencial de hidrógeno (pH)
Altamente ácidas	1.5 a 4.5
Blandas, ligeramente ácidas	5.0 a 7.0
Duras, neutras a alcalinas	7.0 a 8.5
Blandas, alcalinas	7.5 a 11.0

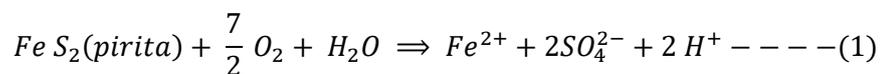
Muy salinas	6.0 a 9.0
Blandas ácidas	3.5 a 5.5

Fuente: Adaptado de (35)

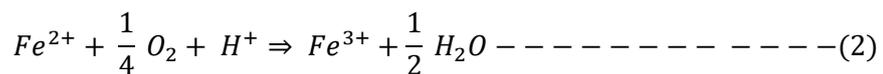
b) Formación de drenaje ácido a partir de la oxidación de la pirita

La formación de drenaje ocurre principalmente por la presencia de minerales sulfuroso y su interacción con el medio ambiente de ello podemos diferir cuatro fases como se detalla a continuación:

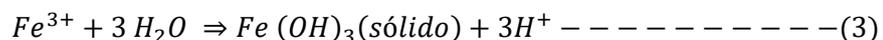
Fase 1: El azufre de la pirita se oxida al estar en contacto con el oxígeno del aire y el agua de lluvia generando ácido (en poca cantidad), y está asociado con una disminución del pH.



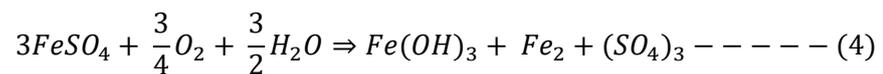
Fase 2: bajo esas condiciones, el hierro ferroso se oxida a hierro férrico (neutralizando un poco del ácido formado), los valores del pH en un rango 3.5 a 4.5.



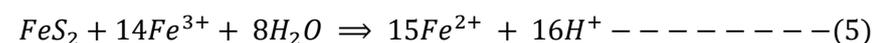
Fase 3: el hierro férrico se hidroliza y se vuelve a generar otra cantidad de ácido, observándose la formación de limonitas.



Con lo restante de las reacciones podrían formarse más minerales.



Fase 4: Esta es la etapa más peligrosa para el que afecta el medio ambiente, “el hierro férrico se convierte en un gran oxidante de la pirita y genera gran cantidad de ácido”, esto ocurre a causa de ciertas condiciones como la presencia de determinadas bacterias, y la acción del agua, la ausencia de oxígeno, y a consecuencia de la gran cantidad de hierro férrico que se ha producido en las fases anteriores.



En esta fase existe gran cantidad de ácido(36).

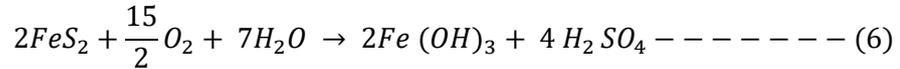
c) Predicción de drenaje ácido

La predicción de drenaje ácido es realizada para determinar si los materiales residuales de las minas, producen o no acidez, para prevenir posibles daños ambientales, este procedimiento se puede llevar a cabo con diversos ensayos analíticos, de igual manera se busca predecir la calidad y cantidad de los drenajes in situ bajo ambientales de la mina, para ello hay técnicas de análisis estático y

los más utilizados es la relación ácido/base, pH, medida de conductividad (EC) y el ensayo de generación ácida neta (NAG)(37).

**Relación ácido/base**

Por lo general la generación de ácido está relacionado con la presencia de S en la muestra, y genera la siguiente reacción:



Por tanto, se genera 2 moles de ácido (2H+) por cada mol de azufre (S), donde los 2H+ tienden a ser neutralizadas por compuestos básicos:



Por ello 1 mol de S consigue neutralizar 1 mol de CaCO<sub>3</sub>.

Por tanto, los valores de producción ácida potencial (PA) en las muestras son expresadas en kg de CaCO<sub>3</sub> /tonelada de material (t), expresándose como sigue:

$$PA = (X/100) \times 1000 \text{ kg} \times [\text{Peso molecular } CaCO_3 / \text{Peso atómico S}]$$

Este factor es obtenido cuando de toma en cuenta lo siguiente:

X/100 = porcentaje S (peso molecular del CaCO<sub>3</sub> = 100 y peso atómico S= 32), simplificando:

$$PA = S\% \times 31,25 \text{ kg } CaCO_3/TM \text{ .....(8) (37).}$$

**Tabla 4.** Clasificación ácido/base (roca) mediante ensayos estáticos

Tipo de roca	Clasificación	Contenido total de azufre (%)	Ratio acido/base (MPA: CNA)
I	Potencial formador de acidez(possible)	> 0.25 %	1:1 o menos
II	Indeterminado (incierto)	>0.25 %	1:1 a 1:3
III	No forma acidez (improbable)	<0.25%	1:3 o más

Nota. MPA: Máximo potencial de acidez, CNA: Capacidad de neutralización ácida Fuente: (38)

Para realizar la clasificación ácido/base, se tiene en cuenta el contenido de azufre total (%), así mismo la relación entre la máxima acidez potencial (PAM) y la capacidad de neutralización ácida (CNA), a través de ello se puede clasificar el potencial ácido de rocas que se depositan en las escombreras de mina (38).

d) **Minerales generadores y neutralizadores de acidez**

Existen minerales generadores y neutralizadores de acidez, en ocasiones los neutralizadores están juntos con los sulfuros en el mismo yacimiento, la rapidez y facilidad de las reacciones varían de acuerdo al grupo mineral (36).

**Figura 1.** Minerales Generadores y neutralizadores de acidez. Fuente: (36)

Minerales generadores de acidez bajo condiciones oxidantes		Minerales neutralizadores de acidez	
Pirita, marcasita	FeS <sub>2</sub>	Calcita	CaCO <sub>3</sub>
Pirrotina	Fe <sub>1-x</sub> S	Dolomita	(Ca,Mg)(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Bornita	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	Magnesita	MgCO <sub>3</sub>
Arsenopirita	FeAsS	Smithsonita	Zn CO <sub>3</sub>
Enargita	Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub>	Malaquita Azurita	Cu <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> )(OH) <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>
Tennantita/tetrahedrita	(Cu,Fe,Zn) <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub> / (Cu,Fe,Zn) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	Aluminosilicatos (Feldespato potásico, plagioclasa)	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	Calcosilicatos (Diópsido, wollastonita, granates)	(Ca,Mg)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> Ca <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ) Ca <sub>3</sub> (Al,Fe,Cr,V) <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ; (Mg,Fe,Mn) <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
Covellina	CuS		
Esfalerita	ZnS		
Galena	PbS		

### 2.2.3. Análisis mineralógico de relavera

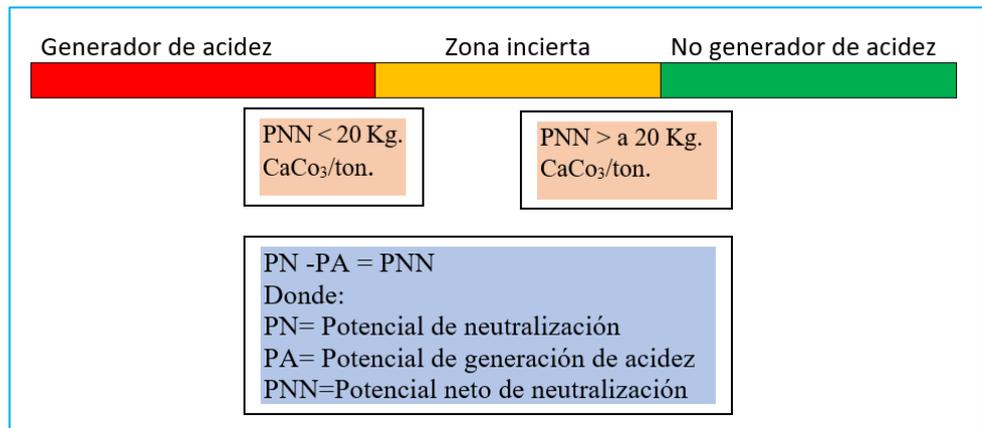
El análisis mineralógico indica los elementos presentes en la muestra tanto generadoras como consumidoras de ácido, además permite identificar las existencia de asociaciones entre minerales que podrían inhibir la oxidación de los sulfuros (39).

### 2.2.4. Análisis geoquímico de relavera

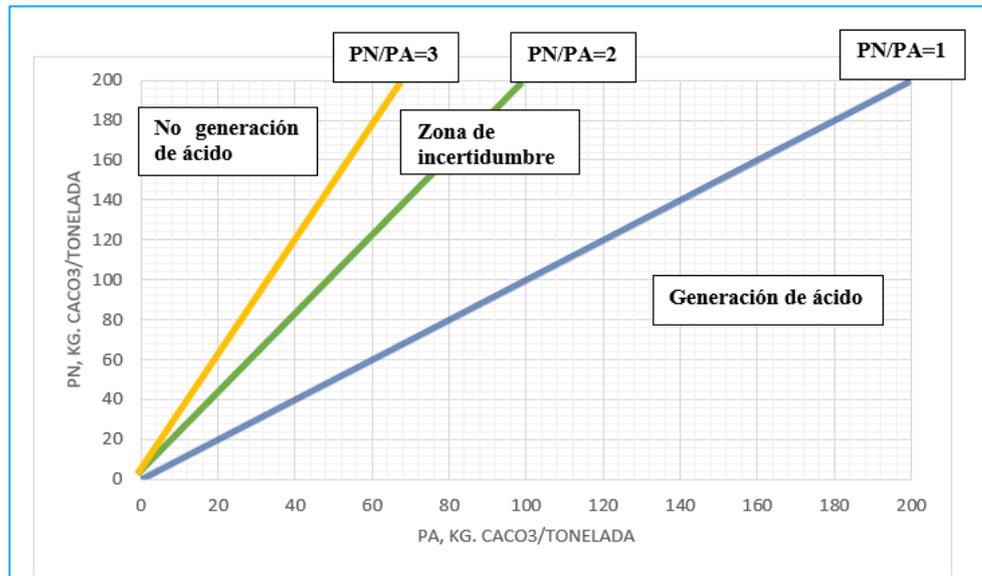
#### a) Prueba geoquímica estática

La prueba geoquímica estática se fundamenta por el balance del potencial de generación de acidez (PA) y potencial de neutralización (PN), que determina el ácido producido y consumido por los componentes minerales en la muestra, la diferencia de estos valores se denomina potencial neto de neutralización (PNN), el cual permite clasificar si una muestra de residuo minero es generador o consumidor potencial de ácido, este potencial es hallado por el análisis total de sulfuros y el cálculo del potencial ácido (PA), asumiendo la conversión total de sulfuros a sulfatos, y que dos moles de H<sup>+</sup> son producidos por cada mol. de pirita que se oxida, se puede interpretar bajo dos criterios de evaluación, el primer criterio considera que, si el valor del PNN es menor a 20 Kg de CaCO<sub>3</sub>/TM onelada, se considera como generador y si es el valor es mayor a 20 CaCO<sub>3</sub>/TM onelada o está en zona incierta se considera no generador de drenaje ácido y requiere una prueba geoquímica dinámica. El segundo criterio se halla de la

relación de PN/PA, si el valor es mayor a 1 el residuo es químicamente estable y si es menor a 1 el residuo es generador de drenaje ácido (40).



**Figura 2.** Primer criterio de evaluación de generación de acidez. Fuente: Adaptado de (40).



**Figura 3.** Segundo criterio de evaluación de generación de acidez. Fuente: Adaptado de (40).

b) Pruebas geoquímicas dinámicas

Estas pruebas geoquímicas de residuo mineros son sometidas a efectos de intemperismo extremo, y las condiciones son establecidos en laboratorio, se realiza para determinar la tasa de generación de drenaje de acidez siempre y cuando el valor de PNN hallado en las pruebas geoquímicas estáticas se encuentre en la zona de incertidumbre (40).

2.2.5. Potencial de hidrógeno en pasta (pH)

El test de pH en pasta nos muestra el número de iones de hidrógeno libres en la muestra evaluada, además cabe resaltar que la oxidación de la pirita es dependiente del tiempo, y el pH nos brinda poca información para determinar si la muestra puede

o no generar drenaje ácido, cabe señalar que la determinación del pH de una muestra sin meteorizar, que contenga gran cantidad de sulfuro, podría ser similar al agua desionizada, por ello se recomienda una muestra meteorizada con un bajo contenido de sulfuro, el cual puede tener un pH menor. Por otro lado un resultado de pH en pasta menor a “5” nos indicará una posible generación de ácidos por parte de la muestra, por el contrario si el pH está por encima de 8, y será señal que existe la posible de presencia de carbonatos (41). El análisis de pH en pasta es económico, rápido y simple de ejecutar, una de las desventajas que presenta es que es un análisis cualitativo, lo que no permite conocer la velocidad de la generación de ácido, por ello es necesario contrastar los datos con otros test para estimar el potencial de generación de acidez (42).

#### 2.2.6. Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero -metalúrgicas.

Mediante el Decreto Supremo N° 010-2010 – MINAM, en Lima – Perú, a los 20 días del mes de agosto de 2010, se aprueba los nuevos Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de los efluentes líquidos de actividades Minero Metalúrgicas.

**Tabla 5.** Límites máximos permisibles minero metalúrgicos

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH		6 a 9	6 a 9
Sólidos totales en suspensión	mg/L	50	25
Aceites y grasas	mg/L	20	16
Cianuro total	mg/L	1	0.8
Arsénico total	mg/L	0.1	0.08
Cadmio total	mg/L	0.05	0.04
Cromo hexavalente (*)	mg/L	0.1	0.06
Cobre total	mg/L	0.5	0.4
Hierro (disuelto)	mg/L	2	1.6
Plomo total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc total	mg/L	1.5	1.2

Nota. (\*) en muestra no filtrada

Fuente: MINAM (43)

## 2.3. Definición de términos básicos

### 2.3.1. Relaves mineros

Los relaves son aquellos materiales generados por los desechos de las actividades minera, por lo general son almacenados en presas grandes construidos por el hombre (44).

El relave es el residuo, producto de la mezcla del mineral molido con agua u otros compuestos, como resultado de la extracción de minerales en el proceso minero metalúrgico(45). Los relaves son aquellos desechos minerales sólidos conformados por partículas de diversos tamaños entre arena y limo que proviene de los procesos de minero metalúrgicos, producidos, transportados y depositados en forma de lodo, lo cual se acumulan en “diques de colas” o “presas de relaves”(36).

### 2.3.2. Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno es el logaritmo negativo en base 10 de la actividad del ion hidrógeno en solución ( $-\log[H^+]$ ) (32).

### 2.3.3. Potencial de hidrógeno en pasta

Es un parámetro que indica la medición de pH en pasta que se realiza se realiza con el sobrenadante de solución de agua desionizada y muestra en proporción 1:1 (p/p) (46).

### 2.3.4. Minerales

Los minerales son aquellos elementos sólidos naturales y uniformes con una disposición atómica ordenada y composición química definida, es el resultado de procesos inorgánicos y parte de las rocas de la corteza terrestre. Existen minerales de una sola composición, tal es el caso del diamante que su formación es a partir del carbono; otros como la pirita que son de dos elementos siendo la unión de hierro y azufre, y otras de tres o más elementos como los feldspatos o los piroxenos y anfíboles. Así mismo se presentan casos en que un mismo elemento genera varias especies de minerales, por ejemplo el carbono puede formar grafito o diamante; también que la unión de dos elementos como la pirita y la marcasita sean homologas y procedan de la unión del hierro y el azufre (47). Los minerales son sustancias sólidas inorgánicas de origen natural que tienen una estructura química definida, la misma que le concede características fisicoquímicas únicas, por lo general la carga negativa de un metal determina el grupo dominante, y a partir de ello se clasifican los minerales, cabe señalar que la formación de los minerales se da de tres maneras: mediante un proceso magmático, metamórfico y sedimentario (48).

### 2.3.5. Concentración de minerales

La concentración de minerales es la determinación del porcentaje de un determinado mineral de interés, para ello se utilizan diversos equipos y métodos de separación, segregando dos o más elementos mineralógicos que generan una corriente enriquecida del mineral de interés (49). Asimismo es un proceso industrial con la única finalidad técnica de separación de las menas que procede de la explotación minera (50).

#### 2.3.6. Análisis mineralógico

Son aquellas técnicas instrumentales para la identificación mineralógica tales como: la microscopía óptica, microscopía electrónica (barrido/microsonda) y la difracción de rayos X, estas técnicas se usan de manera conjunta para la obtención de una información verídica y confiable, estos análisis mineralógicos proporcionan información de las especies minerales y sus características, facilitando la interpretación de los resultados de las pruebas metalúrgicas para establecer las potenciales causas de las dificultades que se presenten en el proceso(51). El análisis mineralógico, se define como una técnica de investigación geológica que se lleva a cabo en un laboratorio, donde se obtiene datos mineralógicos de sus propiedades físico químicas necesarios para la evaluación e identificación de los minerales importantes en las diversas etapas del desarrollo de los proyectos mineros (52), por otro lado, análisis mineralógico por imágenes viene tomando fuerza en los últimos años enfocándose en los datos estadístico y está estrechamente relacionada a la geoestadística y la estereología y se presentan en tres categorías: análisis modal global, análisis modal local dirigido específicamente al análisis de liberación y el análisis individual (53).

#### 2.3.7. Análisis geoquímico

El análisis geoquímico es una herramienta esencial utilizada frecuentemente en programas de exploración en todas las etapas de estudio para la explotación minera, por ello es un método indirecto de prospección que proporciona datos de la distribución y abundancia de los minerales, por otro lado este análisis forma parte de los estudios que se realizan en los depósitos mineros para la identificación de minerales(54).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método y alcance de la investigación**

##### 3.1.1. Método de la investigación

En el presente estudio tiene como método general el científico esto debido a que se utilizan metodologías y pasos ya determinados para el análisis, obtención de muestras y resultados producto de la investigación, además de ello se obtendrá datos que nos permitirán contrastar las hipótesis planteadas (55).

##### 3.1.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación para el presente estudio es aplicada, debido a que se toma como base conocimientos adquiridos que existen, ello nos permite entender mucho mejor el comportamiento de las muestras en estudio, planteando nuevas interrogantes en el trabajo de investigación (56), este consistirá en determinar las características mineralógicas y geoquímicas de la relavera, el pH, y sulfuroso hierro para determinar el potencial de generación de ácido.

##### 3.1.3. Nivel de investigación

El nivel de la investigación es descriptivo debido a que busca caracterizar un fenómeno que analice tendencia una población (55).

#### **3.2. Diseño de la investigación**

El diseño para la investigación será no experimental transeccional, se considera no experimental porque las variables en estudio no serán manipuladas, transeccional porque los datos recolectados se realizaron en un solo momento con el propósito de analizar su interrelación entre las variables de estudio (55).

#### **3.3. Población y muestra**

##### 3.3.1. Población

La población está constituida por una relavera del centro del Perú, ubicado en el distrito de Morococha, provincia de Yauli, región Junín con una ubicación geográfica de coordenadas UTM: por el norte a 8718008 y este 978402.

##### 3.3.2. Muestra

El estudio se centró en la relavera en estudio donde se ubicará 1 punto de muestreo (MR-5) por sectores (R1, R2 y R3).

#### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

##### 3.4.1. Técnicas de recolección de datos

La muestra estará constituida por 4 puntos de muestreo ubicados en el transecto y se consideró las pautas del Reglamento de Muestreo de Suelos Contaminados del Ministerio del Ambiente.

Para la toma de muestras superficiales (30 cm. de profundidad) se utilizó herramientas adecuadas y se recolectó 1 kilogramo por sector.

#### 3.4.2. Técnicas de análisis de datos

Son los métodos y técnicas de investigación que dan acceso a información necesaria para el cumplimiento de los objetivos planteados.

### 3.5. Procedimientos

**Objetivo específico 1:** Analizar la composición mineralógica de una relavera en el centro del Perú.

Para la caracterización de componentes mineralógicos se realizó el análisis mineralúrgico de la muestra de producto metalúrgico sobre una sección pulida de la relavera en estudio, mediante el método de microscopía óptica polarizante de luz reflejada, sobre una briqueta pulida para determinar los componentes mineralógicos y sobre estos se realizó el análisis modal para determinar sus distribuciones volumétricas porcentuales y su grado de liberación, incorporando fotomicrografías. En cuanto al análisis geoquímico se tomó una muestra representativa (1 kilogramo) de la relavera el cual se envió a un laboratorio químico reconocido por Instituto Nacional de Calidad (INACAL) para su análisis de elementos químicos a través de la metodología ICP multielementos.

**Objetivo específico 2:** Determinar el potencial de hidrógeno en pasta de una relavera en el centro del Perú.

Para el análisis del potencial de hidrógeno (pH) se tomó muestras en cuatro puntos a razón de 5 muestras por punto, la muestra se tomó desde la superficie hasta unos 30 cm. de profundidad utilizando herramientas manuales, y la muestra representativa reunida de todos los puntos fue de 2 kilogramos el cual se colocó en una bolsa de plástico rotulado, sin agregar ningún aditivo para su conservación, luego se llevó al laboratorio de ensayo acreditado por el organismo de acreditación INACAL-Da con registro N° LE – 200, LABSAF – Santa Ana, para el ensayo de la muestra se utilizó la norma de referencia EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH. La técnica de pH en pasta consistió en colocar 10 gramos de la muestra en un vaso de precipitación de 100 ml., posterior a ello se añadió agua destilada hasta conseguir una pasta saturada en razón de 1 parte de muestra por 2 partes de agua destilada, luego se agitó para homogenizar la muestra, posterior a ello se esperó 15 minutos, para luego sumergir el electrodo que nos indicó el nivel del pH, este procedimiento se realizó por triplicado para obtener un resultado más certero (57).

**Objetivo Específico 3:** Determinar la concentración de fierro sulfurado de una relavera en el centro del Perú.

Con respecto al análisis del contenido de fierro sulfurado se envió 02 muestra representativa a un laboratorio reconocido por INACAL denominado Laboratorios de ensayo “Ambiental Laboratorios S.A.C.” para lo cual se utilizó la metodología EPA METHOD 2050 B. Revisión 2, 1996.- Fe, Asid Digestion of Sediments, sludges, and Soils, obteniéndose los datos en gramos/kilogramo de muestra.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

##### 4.1.1. Composición mineralógica de una relavera en el centro del Perú.

###### 4.1.1.1. Caracterización aluvial

Se realizó el análisis minero metalúrgico de una muestra de producto metalúrgico sobre una briqueta pulida (caracterización de relave MR-5), realizándose el análisis modal, donde se puede observar los minerales presentes en la muestra (Tabla 6).

**Tabla 6.** Minerales observados para análisis modal

Minerales	Fórmula	Abreviatura
Esfalerita	ZnS	ef
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	cp
Galena	PbS	gn
Calcocita	Cu <sub>2</sub> S	cc
Covelita	CuS	cv
Pirita	FeS <sub>2</sub>	py
Arsenopirita	FeAsS	apy
Marcasita	FeS <sub>2</sub>	mc
Goethita	FeO.OH	gt
Gangas		GGs

Fuente: Elaboración propia

###### 4.1.1.2. Distribución volumétrica y grado de liberación de los minerales

Realizado el análisis modal, se puede interpretar los grados de liberación, entrelazamiento y distribución de los minerales (Tabla 7, 8 y 9).

#### **Interpretación**

La esfalerita ocupa el 3.92% del volumen total de la muestra, de este volumen el 80.15% se halla libre, permaneciendo aun entrelazada el 19.85% restante, el motivo por lo que no se ha liberado totalmente es debido a diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos.

La calcopirita ocupa el 0.09% del volumen total de la muestra, de este volumen el 83.33% se halla libre, permaneciendo aun entrelazada el 16.67% restante, el motivo por lo que no se ha liberado totalmente se debe a los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos.

La galena ocupa el 0.06% del volumen total de la muestra, de este volumen el 0.00% se halla libre, permaneciendo aun entrelazada el 100.00% restante, el

motivo por lo que no se ha liberado totalmente se debe a los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos.

La calcocita ocupa el 0.01% del volumen total de la muestra, de este volumen el 0.00% se halla libre, permaneciendo aun entrelazada el 100% restante, el motivo por lo que no se ha liberado totalmente se debe a los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos.

La covelita está en el orden de trazas, asociada a la ganga, incluida en ésta.

La pirita ocupa el 52.06% del volumen total de la muestra, de este volumen el 98.24% se halla libre, permaneciendo aun entrelazada el 1.76% restante, el motivo por lo que no se ha liberado totalmente se debe a los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos.

La arsenopirita ocupa el 0.38% del volumen total de la muestra, de este volumen el 0.00% se halla libre, permaneciendo aun entrelazada el 100.00% restante, el motivo por lo que no se ha liberado totalmente se debe a los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos.

La marcasita ocupa el 1.12% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que indica que, de las partículas de este mineral que han intervenido en el análisis modal todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento (100 %).

La goethita ocupa el 0.70% del volumen total de la muestra, de este volumen el 64.52% se halla libre, permaneciendo aun entrelazada el 35.48% restante, el motivo por lo que no se ha liberado totalmente se debe a los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos.

La ganga ocupa el 41.67% del volumen total de la muestra, de este volumen el 98.51% se halla libre, permaneciendo aun entrelazada el 1.49% restante, el motivo por lo que no se ha liberado totalmente se debe a los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos.

**Tabla 7.** Distribución volumétrica y grado de liberación

Minerales	Volumen (%)	Grado de liberación (%)
Esfalerita	3.92	80.15
Calcopirita	0.09	83.33
Galena	0.06	0
Calcocita	0.01	0
Covelita	0	0
Pirita	52.06	98.24
Arsenopirita	0.38	0

Marcasita	1.12	100
Goethita	0.7	64.52
Gangas	41.67	98.51
TOTAL	100	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8.** Tipos geométricos de entrelazamiento de minerales y sus posibilidades de liberación completa

Minerales entrelazados	Tipo de entrada	Número partículas	Distribución porcentual	Posibilidades de liberación completa
Partículas libres		2594	96.97	
ef-cp	1dI	2	0.07	Imposible
ef-py	1aIV	6	0.22	Fácil
	1dI	12	0.45	Imposible
ef-apy	4cII	6	0.22	Muy difícil a imposible
	1aII	5	0.19	Fácil
gn-py	1cI	13	0.49	Imposible
	4cI	2	0.07	Muy difícil a imposible
gn-GGs	1bII	3	0.11	Moderadamente fácil
cc-GGs	1eI	1	0.04	Muy difícil a imposible
py-gt	4cI	6	0.22	Muy difícil a imposible
	4cII	6	0.22	Muy difícil a imposible
py-GGs	1dI	5	0.19	Imposible
	1dII	7	0.26	Imposible
gt-GGs	2aI	6	0.22	Muy difícil a imposible
cv-py-GGs	1eII	1	0.04	Muy difícil a imposible
Total		2675	100	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9.** Volúmenes y grados de liberación

Muestra mineral MR-5			Esfalerita		Calcopirita		Galena		Calcocita		Covelita		Pirita		Arsenopirita		Marcasita		Goethita		Gangas	
Total, de Partículas Libres	2594		N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V
						84		2		0		0		0		1368		0		30		12
<b>% Volumen Partículas libres</b>	96.97			3.14		0.07		0		0		0		51.14		0		1.12		0.45		41.05
Total, partículas entrelazadas	Número de partículas	Volumen porcentual	Esfalerita		Calcopirita		Galena															
			N	% V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V
<b>ef -cp</b>	2	0.07	1.6	0.06	0.4	0.01																
<b>ef -py</b>	24	0.9	11.4	0.43									12.6	0.47								
<b>ef -apy</b>	18	0.67	7.8	0.29											10.2	0.38						
<b>gn-py</b>	2	0.07					1	0.04					1	0.04								
<b>gn-GGs</b>	3	0.11					0.6	0.02													2.4	0.09
<b>cc-GGs</b>	1	0.04							0.3	0.01											0.7	0.03
<b>py-gt</b>	12	0.45											8.4	0.31					3.6	0.13		
<b>py-GGs</b>	12	0.45											2.52	0.09							9.48	0.35
<b>gt-GGs</b>	6	0.22																	3	0.11	3	0.11
<b>cv-py-GGs</b>	1	0.04									0.01	0	0.01	0							0.98	0.04
<b>Total, entrelazadas</b>	81	3.03	20.8	0.78	0.4	0.01	1.6	0.06	0.3	0.01	0.01	0	24.53	0.92	10.2	0.68			6.6	0.25	16.56	0.62
<b>Total libres + entrelazados</b>	2675	100	104.8		2.4		1.6		0.3		0.01		1392.53		10.2		30		18.6		1114.6	
<b>Total volumen porcentual</b>		100		3.92		0.09		0.06		0.01		0		52.06		0.38		1.12		0.7		41.67
<b>Grados de liberación porcentual</b>			80.15		83		0		0		0		98.24		0		100		64.52		98.51	

*Nota.* N= Número de partículas libres y entrelazados contabilizados. %V= volumen porcentual de las partículas libres y entrelazadas. Fuente: elaboración propia

**Tabla 10.** Análisis geoquímico

Metal pesado	Abreviatura	Unidad	Resultado
Plata	Ag	ppm	16
Aluminio	Al	%	4.37
Arsénico	As	ppm	1435
Bario	Ba	ppm	317
Berilio	Be	ppm	4
Bismuto	Bi	ppm	<5
Calcio	Ca	%	2.61
Cadmio	Cd	ppm	31
Cobalto	Co	ppm	39
Cromo	Cr	ppm	59
Cobre	Cu	%	0.21
Hierro	Fe	%	>5.0
Potasio	K	%	1.1
Magnesio	Mg	%	1.38
Manganeso	Mn	%	1.85
Molibdeno	Mo	ppm	27
Sodio	Na	%	0.08
Níquel	Ni	ppm	39
Fósforo	P	ppm	790
Plomo	Pb	%	0.16
Antimonio	Sb	ppm	49
Escandio	Sc	ppm	7
Estaño	Sn	ppm	13
Estroncio	Sr	ppm	158
Titanio	Ti	%	0.05
Vanadio	V	ppm	45
Wolframio	W	ppm	102
Itrio	Y	ppm	15
Zinc	Zn	%	0.95
Circonio	Zr	ppm	10

Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

El alto contenido de pirita liberada (py disulfuro de hierro), 52.06% es indicador indudable de un alto contenido de sulfuro expuesto y que al reaccionar con oxígeno

del aire y presencia de agua de la humedad ambiental sin duda condiciona un alto grado de generación ácida en el futuro, de no adoptarse medidas de control preventivo (aislamiento por cobertura o inundación).

#### 4.1.2. Potencial de hidrógeno en pasta de una relavera en el centro del Perú.

**Tabla 11.** Análisis de potencial de hidrógeno en pasta

Muestra	Parámetro
R1	6.8
R2	6.9
R3	7.0

Fuente: Elaboración propia

#### **Interpretación**

El análisis de potencial de hidrógeno en pasta de las muestras R1, R2 y R3 cuyos valores son 6.8, 6.9 y 7.0 respectivamente (Tabla 11), nos muestra un resultado ligeramente ácido o neutro cuyo valor es de 7, considerando los LMP para la minería se encuentran dentro de los rangos establecidos, además de ello de acuerdo al valor del pH, los resultados obtenidos nos indican que el tipo de drenaje ácido es el V por ser mayor a 6 donde el agua del drenaje puede ser neutralizado, y sobre todo es un indicador de que pese al alto contenido de sulfuros expuestos, aún no se genera apreciablemente drenaje ácido.

#### 4.1.3. Concentración de fierro sulfurado de una relavera en el centro del Perú.

La concentración de fierro en la muestra de la relavera nos indica que existe la presencia de elementos asociados a este metal (sulfuros) lo cual se representa en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Análisis de fierro

Muestra	Coordenadas		Unidad	Resultados
	Este	Norte		
R1	379137	8717698	g/kg	132.98
R2	379129	8717747	g/kg	136.37

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4. Potencial de acidez máximo de la relavera

Para la determinación del potencial de acidez de la relavera en estudio se tomó en cuenta los datos evaluados en los ensayos mineralógicos y químicos.

Por tanto, considerando los datos obtenidos del análisis mineralógico se obtiene que la cantidad de piritita representa un 52.06 % del volumen porcentual de las partículas libres y entrelazadas (Tabla 7).

Así mismo del análisis químico (Tabla 12), se asume que el valor del hierro es la pirita ( $\text{FeS}_2$ ) por tanto se tiene los siguientes datos:

**Tabla 13.** Valores porcentuales de la pirita de la muestra

Muestra	Unidad	Cantidad	Porcentaje
R1	g/Kg	132.98	13.298%
R2	g/Kg	136.37	13.637%

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta la masa atómica de los componentes de la pirita se obtiene los siguientes datos:

Hierro (Fe) = 55.845 u (gramos/mol)

Azufre(S) = 32.065 u (gramos/mol)

Pirita ( $\text{FeS}_2$ ) = 119.975 u (gramos/mol)

**Tabla 14.** Valor porcentual de la pirita tomando en cuenta la masa atómica

Componente	Unidad	Cantidad
Hierro	%	46.547
Azufre	%	53.453

Fuente: Elaboración propia

Reemplazando en la fórmula número “8” se obtiene los siguientes resultados para el potencial de acidez para la relavera en estudio.

**Tabla 15.** Potencial de acidez máximo (PAM)de la relavera en estudio

Muestras	Hierro	Azufre	Potencial de acidez máximo (PAM)
R1	6.1898%	7.1082%	222.13125 Kg. $\text{CaCO}_3/\text{TM M}$
R2	6.3476%	7.2894%	227.7940 Kg. $\text{CaCO}_3/\text{TM M}$

Fuente: Elaboración propia

### Interpretación

El porcentaje de azufre de las muestras R1 y R2 son altas de acuerdo con la clasificación ácida/base (roca) mediante ensayos estáticos (Tabla 4), lo que nos indica que es un potencial formador de acidez( posible) a futuro, observándose valores altos de potencial de acidez máximo (Tabla 15).

## 4.2. Prueba de hipótesis

### 4.2.1. Hipótesis general

Ho: El potencial de generación ácido de una relavera en el centro del Perú es negativo, utilizando datos de ensayo mineralógico y químico.

Ha: El potencial de generación ácido de una relavera en el centro del Perú es positivo, utilizando datos de ensayo mineralógico y químico.

#### **Decisión**

Se acepta la hipótesis alterna (Ha), ya que el potencial de generación ácido de una relavera en el centro del Perú es positivo, porque se puede determinar utilizando datos de ensayo mineralógico y químico, como resultado de la investigación se puede diferir que existe la posibilidad potencial de formar acidez (posible) a futuro, resultando que existen altos valores de potencial de acidez máximo donde R1 (muestra) presenta 222.13 Kg. CaCO<sub>3</sub>/ TM y R2 (muestra) tiene un valor de 227.79 Kg. CaCO<sub>3</sub>/TM M., con un porcentaje de azufre sulfurado para R1 un 7.11% y para R2 un valor de 7.29%, siendo estos valores altos.

### 4.2.2. Hipótesis específica (He)

He 1: Se puede diferir que la composición mineralógica de una relavera en el centro del Perú, predice un potencial de generación ácido positivo.

#### **Decisión**

Podemos diferir que la composición mineralógica predice un potencial de generación ácido positivo. Por tanto, el análisis mineralógico realizado nos permitió conocer las distribuciones volumétricas porcentuales y grado de liberación, visualizándose que la pirita es el componente de mayor presencia en la muestra total ocupando el 52.06%, de este volumen, el 98.24% se halla libre, permaneciendo entrelazada el 1.76% restante, además que en el análisis geoquímico resulta que el arsénico, cobre, hierro, plomo y zinc con valores de 1.435mg/L, 2.1 mg/L, 50 mg/L y 9.5 mg/L respectivamente.

He 2: Se puede diferir que el análisis del potencial de hidrógeno en pasta de una relavera en el centro del Perú, predice un potencial de generación ácido positivo.

#### **Decisión**

Con el análisis del potencial de hidrógeno en pasta se puede predecir un potencial de generación ácido positivo, ya que el análisis del pH nos permite conocer el grado de alcalinidad o acidez de la muestra, donde las tres muestras evaluadas tuvieron valores de 6.8, 6.9 y 7.0 respectivamente, siendo estos ligeramente ácidos o neutro.

He 3: Se puede diferir que la concentración de fierro sulfurado de una relavera en el centro del Perú, predice un potencial de generación ácido positivo.

#### **Decisión**

CaCO<sub>3</sub>/TM M y 227.79 Kg. CaCO<sub>3</sub>/TM M, respectivamente para cada muestra.

### **4.3. Discusión de resultados**

Con respecto al potencial de generación de acidez de la relavera en estudio, resulta que existe la posibilidad de un potencial formador de acidez (posible) a futuro, observándose valores altos de potencial de acidez máximo, logrando que para R1 (muestra) presenta 222.13125 Kg. CaCO<sub>3</sub>/TM M y R2 (muestra) tiene un valor de 227.7940 Kg. CaCO<sub>3</sub>/TM M., con un porcentaje de azufre sulfurado, para R1 un 7.1082% y para R2 un valor de 7.2894%. (13) describe la importancia de determinar el % de azufre sulfurado que a partir de ello se puede establecer el potencial máximo de acidez, además que es útil y resulta práctico la descripción de la caracterización geoquímica de sólidos con pruebas estáticas, análisis mineralógico determinación del pH en pasta y balance ácido/base (ABA), lo que permitirá tomar medidas preventivas para el control y reducir este riesgo ambiental.

En el análisis mineralógico, cabe resaltar que de todos los componentes evaluados la pirita resultó que es el componente de mayor presencia en la muestra total ocupando el 52.06%, de este volumen el 98.24% se halla libre, permaneciendo entrelazada el 1.76% restante. (17) en su análisis mineralógico para la determinación de drenaje ácido obtuvo 3.7% de pirita ocluida en silicatos y considera que no son de alto riesgo, cuyo resultado difiere con los datos obtenidos en el presente estudio; así mismo (18) considera que, cuando la pirita está encerrada en minerales de ganga no reactivos, está puede conducir desfavorablemente a mayores costos de manejo de relaves, por ello es recomendado una desulfuración ambiental por flotación.

En el análisis geoquímico se puede visualizar que el arsénico, cobre, hierro, plomo y zinc con valores de 1.435mg/L, 2.1 mg/L, 50 mg/L y 9.5 mg/L respectivamente, tienen valores altos, que podrían afectar el medio ambiente. (19) en su estudio de potencial de generador de ácido de mina en Zacatecas encontró concentraciones de elementos potencialmente tóxicos (EPT's) como el Cu, Zn, As, Cd y Fe, sobrepasaron los límites establecidos por la norma SEMARNAT (norma mexicana), representando un riesgo ambiental, obteniendo similar resultado con la presenta investigación. (21) considera que la caracterización físico, químico y mineralógico de relaves es conveniente para determinar la probabilidad de generar drenajes ácidos. (28) considera que el Fe, Pb, As, Mn, Sb, que sobrepasan lo LMP, pueden presentar algún potencial de contaminación.

El análisis del pH nos permitió conocer el grado de alcalinidad o acidez de la muestra, donde las tres muestras evaluadas tuvieron valores de 6.8, 6.9 y 7.0 respectivamente, resultando que de acuerdo a los LMP para la minería se encuentran dentro de los rangos

establecidos.(19) en un estudio que realizó para evaluar el potencial generador de ácido de mina en Zacatecas resulta que obtuvo un pH de 7.2, siendo este resultado similar a los datos obtenidos en el presente estudio, así mismo (20) menciona que una prueba de lixiviación depende del pH, a partir del cual se puede analizar la influencia del tiempo y la liberación del metaloide, y suponer que existe la presencia de minerales sulfurados (pirita y esfalerita) tanto como partículas libres e incrustadas dentro de otros minerales (cuarzo), se exhibió un alto potencial de generación de ácido, con un valor de pH <3, lo que le muestra un alto potencial de generar ácido por tanto una liberación de metaloides, lo que difiere con los resultados obtenidos en el estudio.

La concentración de hierro en la muestra de la relavera nos permitió conocer la cantidad de componente sulfurados en la muestra, los cuales resultaron para R1=132.98 g/kg y R2=136.37 g/kg.(23) menciona que la determinación de sulfuros de hierro estériles y residuales (p. ej., pirita y pirrotita), permite determinar la predicción de drenaje ácido, además que se debe complementar con pruebas cinéticas, para tener una perspectiva de economía circular y valorización de residuos mineros.

## CONCLUSIONES

La determinación del potencial de generación ácido de una relavera en el centro del Perú, utilizando ensayo mineralógico y químico, es positiva, obteniéndose valores altos de potencial de acidez máximo con 222.13 Kg. CaCO<sub>3</sub>/TM y 227.79 Kg. CaCO<sub>3</sub>/TM, con un porcentaje de azufre sulfurado de 7.11% y 7.29%, que de acuerdo a la clasificación de ácido base (roca) el valor máximo de % de azufre debe ser 0.25%, por tanto, existe la posibilidad de formación de drenaje ácido en el futuro si no se toma las precauciones ambientales pertinentes, por ello se plantea tomar medidas preventivas, con criterio y gestión ambiental.

Con respecto a la composición mineralógica se visualiza que la pirita es el componente de mayor presencia en la muestra total ocupando el 52.06%, de este volumen, el 98.24% se halla libre, permaneciendo entrelazada el 1.76% restante, por tanto existe presencia de minerales sulfurosos en la relavera en estudio, además que en el análisis geoquímico resulta que el arsénico, cobre, hierro, plomo y zinc con valores de 1.435mg/L, 2.1 mg/L, 50 mg/L y 9.5 mg/L respectivamente son valores altos que en combinación con los otros elementos, existe un alto grado de formación de acidez que podrían afectar el medio ambiente.

El análisis del potencial de hidrógeno en pasta nos permite predecir un potencial de generación ácido positivo, en la investigación se obtuvo un valor de pH en promedio de 6.9, siendo estos ligeramente ácidos o neutro, lo que es un indicador que aún no hay formación de acidez relevante, por tanto, se debe tomar las medidas preventivas ambientales y tratar de controlar la formación de acidez en la relavera.

La concentración de hierro en la muestra de la relavera predice un potencial de generación ácido positivo, ya que nos permitió conocer la cantidad de componente sulfurados en la muestra, los cuales resultaron valores de 132.98 g/kg y 136.37 g/kg; a partir de ello se obtuvo el potencial de generación de ácido obteniéndose 222.13 Kg. CaCO<sub>3</sub>/TM y 227.79 Kg. CaCO<sub>3</sub>/TM, respectivamente para cada muestra, estos datos nos permiten diferir que existe el principal elemento que podría generar acidez en la relavera, por ello es muy importantes para tomar medidas de prevención ambiental.

## **RECOMENDACIONES**

La predicción de generación de ácido, basado en las evaluaciones mineralógicas y químicas realizadas en la presente investigación, son relevantes ya que esta información nos permitió afirmar que la relavera en estudio aun no genera ácido, pero tiene un alto potencial de generación de ácido, por ello es oportuno plantear un plan de prevención o mitigación, para evitar que la calidad de los efluentes circundantes a la relavera se deteriore.

Se recomienda un constante monitoreo de las relaveras y sus efluentes para evitar impactos ambientales negativos en las poblaciones cercanas a los centros mineros.

Los datos obtenidos brindan información valiosa, que sirve para la realización de futuras investigaciones, en prevención y mitigación de relaveras mineras en el centro del país, además se recomienda investigar y profundizar los conocimientos a través de otras técnicas tanto estáticas como cinéticas para la determinación de potencial de generación de ácido en relavera mineras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ROMERO, Angélica; and VILLAMARÍN, Juan. *Caracterización del potencial de generación de acidez en rocas presentes al oriente del municipio de Titiribí, Antioquia*. Online. 2022. Available from: [www.aging-us.com](http://www.aging-us.com)
2. IIMP. *EXPORTACIONES MINERAS*. Perú, 2023.
3. ESPÍN, Damián, JARRÍN, Jaime and ESCOBAR, Olga Maritza. Manejo, gestión, tratamiento y disposición general de relaves mineros generados en el proyecto Río Blanco. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*. 2020. Vol. II, no. 4, p. 13.
4. LÓPEZ PAMO, E., ADUVIRE, O. and BARETTINO, D. Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: estado actual y perspectivas de futuro. *Boletín Geológico y Minero*. 2002. Vol. 113, no. 1, p. 3–21.
5. ANDALRAFT SENOCIAÍN, Javier Andrés. *Evaluación del ensuciamiento en la nanofiltración de drenaje ácido minero*. Online. Universidad de Concepción - Chile, 2017. Available from: <http://repositorio.udec.cl/handle/11594/2813>
6. SANGITA, G. Udayabhanu and BABLY PRASAD. *Studies on Environmental impact of Acid Mine Drainage Generation and its Treatment: An Appraisal*. Online. 2010. Available from: <http://www.ijep.in/>
7. NORDSTROM, D. Kirk and ALPERS, C N. Chapter\_6 GEOCHEMISTRY OF Acid MINE WATERS. In : *GEOCHEMISTRY OF Acm MINE WATERS D*. 1999. p. 30.
8. MORIN, K.A., HUTT, N.M. Environmental Geochemistry of Mine Site Drainage: Practical Theory and Case Studies. In : . Digital ed. Canada, 2001. p. 19. ISBN 0968203914.
9. SANCHEZ, Jose and FERREIRA, Juan. Drenajes Ácidos de mina, alternativas de tratamiento. *Revista de Medio Ambiente y Minería*. Online. 2016. No. 1, p. 20–33. Available from: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2519-53522016000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522016000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
10. HEDIN, Robert S., NAIRN, Robert W. and KLEINMANN, Robert L. P. Passive treatment of coal mine drainage. *Information Circular 9389*. 1994. P. 1–44.
11. MINERIA, Energía y. *Pruebas de predicción de drenajes ácidos: ¿ cuál es su importancia en la gestión de residuos mineros ?* Perú, 2023.
12. NWAILA, Glen T., GHORBANI, Yousef, ZHANG, Steven E., FRIMMEL, Hartwig E., TOLMAY, Leon C.K., ROSE, Derek H., NWAILA, Phumzile C. and BOURDEAU, Julie E. Valorisation of mine waste - Part I: Characteristics of, and sampling methodology for, consolidated mineralised tailings by using Witwatersrand gold mines (South Africa) as an example. *Journal of Environmental Management*. Online. 2021.

- Vol. 295, no. June, p. 113013. DOI 10.1016/j.jenvman.2021.113013.
13. ADUVIRI, Oswaldo. Tecnicas De Prevencion Y Control De La Generacion Acida En Minería. *Medio Ambiente y Minería*. Online. 2018. No. 4, p. 24–31. Available from: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2519-53522018000100003](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522018000100003)
  14. MARTINEZ RAMIREZ, Paula. Protocolo de caracterizacion para la predicción de drenaje ácido en depósitos de relaves mineros. . 2019.
  15. MORENO RAMÓN, Hector;, IBAÑEZ ASENSIO, Sara; and GISBERT BLANQUER, Juan Manuel. Sulfuros. *Universidad Politecnica de Valencia*. Online. 2010. P. 8. Available from: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13682/sulfatos\\_revisado\\_definitivo.pdf?sequence=3](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13682/sulfatos_revisado_definitivo.pdf?sequence=3)
  16. MAURICIO, Alfonso, LOPEZ M., Olga, MARTÍNEZ, Paola;, TEHERÁN, Ruben., BARRAGAN, Nubia; and MENESES, Rafael. Propuesta de lineamiento técnicos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos relacionados con Drenajes Ácidos Mineros (DAM). *Minenergia*. Online. 2021. P. 40. Available from: <https://www.minenergia.gov.co/documents/7133/drenajes-acidos-minero-mme-2022.pdf>
  17. RUIZ-SÁNCHEZ, A., TAPIA, Julio C. Juárez and LAPIDUS, G. T. Evaluation of acid mine drainage (AMD) from tailings and their valorization by copper recovery. *Minerals Engineering*. 2023. Vol. 191, no. December 2022. DOI 10.1016/j.mineng.2022.107979.
  18. MAFRA, Carolina, BOUZAHZAH, Hassan, STAMENOV, Lachezar and GAYDARDZHIEV, Stoyan. Insights on the effect of pyrite liberation degree upon the acid mine drainage potential of sulfide flotation tailings. *Applied Geochemistry*. Online. 2020. Vol. 123, no. March, p. 104774. DOI 10.1016/j.apgeochem.2020.104774.
  19. RUIZ SÁNCHEZ, Ángel, JUÁREZ TAPIA, Julio Cesar and LAPIDUS, Gretchen L. Evaluación del potencial generador de ácido de mina en jales mineros del estado de Zacatecas. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*. 2022. Vol. 9, no. 9, p. 65–70. DOI 10.29057/aactm.v9i9.9405.
  20. HELSER, Jillian and CAPPUYNS, Valérie. Acid generation potential and kinetics of metal(loid) release from resuspended sulfidic mine waste. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2022. Vol. 10, no. 4. DOI 10.1016/j.jece.2022.108158.
  21. CORDERO, Cintia, MARCHEVSKY, Natalia;, CHIACCHIARINI, Patricia; and GIAVENO, María. Caracterización física, química y mineralógica de un antiguo relave, en busca de alternativas de reutilización. *Minería y Geología*. Online. 2022. Vol. 38, no. 1, p. 70–82. Available from: <https://bit.ly/3iehTNX>
  22. SALAS URVIOLA, Fernando Benigno, GUADARRAMA GUZMÁN, Pedro, FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ, Georgina, GONZÁLEZ SÁNCHEZ, Jesús Fidel and

- BARRAZA TORRES, Luis Adrián. Prediction of acid mine drainage, tailings from la prieta mine, Chihuahua, Mexico. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*. 2020. Vol. 36, no. 4, p. 825–834. DOI 10.20937/RICA.53523.
23. ELGHALI, Abdellatif, BENZAAZOUA, Mostafa, TAHA, Yassine, AMAR, Hicham, AIT-KHOUIA, Yassine, BOUZAHZAH, Hassan and HAKKOU, Rachid. Prediction of acid mine drainage: Where we are. *Earth-Science Reviews*. Online. 2023. Vol. 241, no. February, p. 104421. DOI 10.1016/j.earscirev.2023.104421.
  24. HAMED, Chafana; and PABST, Thomas. Experimental and numerical evaluation of the critical degree of saturation and critical exposure time of acid generating filtered tailings. *Applied Geochemistry*. Online. 2023. Vol. 155, no. January, p. 105726. DOI 10.1016/j.apgeochem.2023.105726.
  25. GONZÁLEZ, Erika, GARCÍA, Sebastián, SOTO, Fabián, NAVARRO, Felipe, TOWNLEY, Brian and CARABALLO, Manuel A. Geochemical, mineralogical and geostatistical modelling of an IOCG tailings deposit (El Buitre, Chile): Implications for environmental safety and economic potential. *Journal of Geochemical Exploration*. 2022. Vol. 239, no. March. DOI 10.1016/j.gexplo.2022.106997.
  26. ÇELEBI, E. Ender and ÖNCEL, M. Salim. Determination of acid forming potential of massive sulfide minerals and the tailings situated in lead/zinc mining district of Balya (NW Turkey). *Journal of African Earth Sciences*. 2016. Vol. 124, p. 487–496. DOI 10.1016/j.jafrearsci.2016.09.014.
  27. GUEVARA, Juan. *Generación de acidez por la presencia de sulfuros en el futuro tajo del proyecto minero " El Galeno"*. Online. 2017. Available from: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2782>
  28. LI LIN, Sergio. *Medición del Potencial de Generación de Agua Ácida para un Relave en la Zona Central del Perú y sus Necesidades de Neutralización*. Online. Pontificia Universidad Católica del Perú, 2013. Available from: [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/4923/LI\\_SERGIO\\_MEDICION\\_GENERACION\\_AGUA\\_RELAVE\\_ZONA\\_CENTRAL\\_PERU\\_NECESIDADES\\_NEUTRALIZACION.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/4923/LI_SERGIO_MEDICION_GENERACION_AGUA_RELAVE_ZONA_CENTRAL_PERU_NECESIDADES_NEUTRALIZACION.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
  29. SOLIS ALMERCOS, Jhampier Richard. *Evaluación Ambiental mediante la potencialidad de generación de drenaje ácido en relaveras de la Compañía Minera Alpamarca S.A.C. de los años 2015 y 2017*. Online. 2022. Available from: [http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/6050/Tesis\\_57389.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/10302%0Ahttp://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/414/1/T026\\_70261078\\_T.pdfTesis](http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/6050/Tesis_57389.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/10302%0Ahttp://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/414/1/T026_70261078_T.pdfTesis)
  30. SOBEK, Andrew A, SCHULLER, William A, FREEMAN, John R and SMITH,

- Richard M. *Field and Laboratory Methods Applicable to Overburdens and Minesoils*. 1978. , Cincinnati, OH,
31. DOLD, Bernhard and WEIBEL, Leyla. Biogeometallurgical pre-mining characterization of ore deposits: An approach to increase sustainability in the mining process. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013. Vol. 20, no. 11, p. 7777–7786. DOI 10.1007/s11356-013-1681-2.
  32. SERNAGEOMIN. Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras. *Fundación Chile - CORFO*. 2015. P. 248.
  33. MINEM. Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros. Ministerio de Minas y Energía. *Guía del MINEM*. Online. 2005. Vol. 12, p. 73. Available from: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/relaveminero.pdf>
  34. SKOUSEN, J. G., JOHNSON, C. D. and GARBUTT, K. Natural Revegetation of 15 Abandoned Mine Land Sites in West Virginia. *Journal of Environmental Quality*. 1994. Vol. 23, no. 6, p. 1224–1230. DOI 10.2134/jeq1994.00472425002300060015x.
  35. MINISTERIO DE MINAS Y METALURGÍA (MMM). *Contaminación del Agua y Cierre de Actividades Mineras*. Bolivia, 2021.
  36. HERRMANN, Carlos; and ZAPPETTINI, Eduardo O. Recursos minerales, minería y medio ambiente. In : *Servicio Geológico Minero Argentino*. 2014. p. 70.
  37. ADUVIRE, Osvaldo. Drenaje Ácido de Mina Generación y Tratamiento. *Instituto Geológico y Minero de España*. 2006. P. 136.
  38. AUSTRALIA. *Gestión de desechos mineros sulfídicos y drenaje ácido / Medio Ambiente*. Australia, 1997.
  39. AMIRA-INTERNACIONAL. *ARD Test Handbook*. . 2002. ISBN ABN 60 176 687 975.
  40. PEÑA-CARPIO, Elizabeth and MENÉNDEZ-AGUADO, Juan M. Environmental study of gold mining tailings in the Ponce Enriquez mining area (Ecuador). *DYNA (Colombia)*. 2016. Vol. 83, no. 195, p. 237–245. DOI 10.15446/dyna.v83n195.51745.
  41. MERCHANT, P. Brad and LAWRENCE, Richard W. Acid rock drainage prediction manual. *MEND Report*. Online. 2008. No. March 1991, p. 83. Available from: <http://mend-nedem.org/wp-content/uploads/2013/01/1.16.1b.pdf>
  42. PRICE, William A. Prediction manual for drainage chemistry from sulphidic geologic materials. *MEND Report*. 2009. Vol. 1, no. 1, p. 579.
  43. MINAM. *Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas. Decreto Supremo N°010-2010-MINAM*. Online. 2010. Available from: [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_010-2010-minam.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_010-2010-minam.pdf)límites máximos permisibles aplicados al sector Minero
  44. ISLAM, Kamrul and MURAKAMI, Shinsuke. Global-scale impact analysis of mine

- tailings dam failures: 1915–2020. *Global Environmental Change*. 2021. Vol. 70. DOI 10.1016/j.gloenvcha.2021.102361.
45. MINEM. Ministerio de Energía y Minas- Proyecto de ley N° 5813/2020. *Congreso de la República del Perú*. Online. 2020. P. 29. Available from: <http://www.energiaymovilidad.com/cables-y-conectores/140-cable-solar-4mm2-multicontact.html>
  46. CHOTPANTARAT, Srilert. A review of static tests and recent studies. *American Journal of Applied Sciences*. 2011. Vol. 8, no. 4, p. 400–406. DOI 10.3844/ajassp.2011.400.406.
  47. VALLEJO VELÁSQUEZ, Juan Carlos. *Manual de Geología - Los Minerales*. 2014.
  48. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUAREZ. *Los Minerales* Online. Mexico, 2016. Available from: [http://www.uacj.mx/ICB/UEB/Documents/Hojas tecnicas/Minerales.pdf](http://www.uacj.mx/ICB/UEB/Documents/Hojas_tecnicas/Minerales.pdf)
  49. BUSTAMANTE RÚA, M. Oswaldo;, GAVIRIA CARTAGENA, Ana Cecilia; and RESTREPO BAENA, Oscar Jaime. *Concentración de minerales*. Colombia, 2008.
  50. ANDREA BLANCO, Emilio. *INTRODUCCIÓN A LA MINERALURGIA*. España, 2014.
  51. LONDOÑO ESCOBAR, Jorge Iván;, MOJICA BULTRAGO, Jaime;, MOLANO MENDOZA, Juan Carlos;, CAÑÓN ROMERO, Yolanda;, STELLA MOSQUERA, Gloria;, RUIZ SOLANO, Verónica;, ONEIDA PEREZ, Nury;, GUTIERREZ, Hector Mario;, GONZALES, Maria de Carmen;, CONCHA, Harold;, GALINDO, Benedicto;, LONDOÑO MADRIGAL, Silvia Elena; and BURITICA, Jhon Jairo. *Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas - Guía Metodológica*. Online. Colombia, 2010. ISBN 9789589789667. Available from: <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSerias/Documentos/Tecnicas-mineralogicas-quimicas-metalurgicas.PDF>
  52. CANDIOTTI, Hugo. *Análisis mineralógico en la industria minera*. 1980.
  53. PIRARD, Eric. *Análisis Mineralógico Cuantitativo* Online. 2010. Available from: <http://www.ulg.ac.be/geomac1>.
  54. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN. *Cátedra de exploración - geoquímica*. Argentina, 2020.
  55. HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto;, FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos; and BAPTISTA LUCIO, Maria del Pilar. *Metodología De la Investigación*. Online. Quinta Edi. 2010. ISBN 9786071502919. Available from: <https://drive.google.com/file/d/0B7fKI4RAT39QeHNzTGh0N19SME0/view?resourcekey=0-Tg3V3qROROH0Aw4maw5dDQ>
  56. CEGARRA SÁNCHEZ, José. *Metología de la investigación científica y tecnológica*.

Online. Ediciones. España- Madrid, 2004. ISBN 8479786248. Available from:  
[https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24111w/Metodologia de la Investigacion Cientifica y Tecnologica - Jose Cegarra Sanchez.pdf](https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24111w/Metodologia%20de%20la%20Investigacion%20Cientifica%20y%20Tecnologica%20-%20Jose%20Cegarra%20Sanchez.pdf)

57. 9045C, Method. Method 9065D Soil and waste pH. . 2004. No. November, p. 1–61.

## ANEXOS

### Anexo 1. Análisis mineralógico



Jr. San Juan Bautista 362  
Urb. Palao - San Martín de Porres  
Lima – Perú  
Teléf.: (00511) 505-3415 Cel.: 999188137  
E-mail: geoexinpesac@yahoo.com  
RUC: 20523905326

### **ANALISIS MINERALÚRGICO DE UNA (01) MUESTRA DE PRODUCTO METALÚRGICO SOBRE UNA SECCION PULIDA (CARACTERIZACIÓN RELAVE MR-5)**

**Para: UNIVERSIDAD CONTINENTAL - TESISISTA.**

**Solicitado por: Ing. Nélda Tantavilca/Diana Araujo**

**Realizado por: Ing. Pedro Miguel Gagluffi Espinoza**

**Lima, 19 de Abril del 2023.**

## ANÁLISIS MINERALÚRGICO DE UNA (01) MUESTRA DE PRODUCTO METALÚRGICO SOBRE UNA SECCION PULIDA (CARACTERIZACIÓN RELAVE MR-5)

En el análisis mineralúrgico realizado sobre la muestra de producto metalúrgico, mediante el método de microscopía óptica polarizante de luz reflejada, sobre la briqueta pulida, se ha podido determinar sus componentes mineralógicos, sobre estos se han hecho el análisis modal determinando sus distribuciones volumétricas porcentuales, su grado de liberación y finalmente la interpretación del grado de liberación utilizando los datos obtenidos.

### MUESTRA: CARACTERIZACIÓN ALUVIAL

En el cuadro que a continuación se exhibe, se insertan los minerales observados y los que han intervenido en el análisis modal:

MINERALES	FORMULA	ABREVIATURA
Esfalerita	ZnS	ef
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	cp
Galena	PbS	gn
Calcocita	Cu <sub>2</sub> S	cc
Covelita	CuS	cv
Pirita	FeS <sub>2</sub>	py
Arsenopirita	FeAsS	apy
Marcasita	FeS <sub>2</sub>	mc
Goethita	FeO.OH	gt
Gangas		GGs

### DISTRIBUCIÓN VOLUMÉTRICA Y GRADOS DE LIBERACIÓN

La distribución volumétrica en este reporte es en término porcentual, del mismo modo con respecto a los grados de liberación; los cuales se proporcionan para todos los minerales que han intervenido en el análisis modal y se pueden observar en el cuadro siguiente:

MINERALES	VOLUMEN (%)	GRADO DE LIBERACION (%)
Esfalerita	3.92	80.15
Calcopirita	0.09	83.33
Galena	0.06	0.00
Calcocita	0.01	0.00
Covelita	Trz	0.00
Pirita	52.06	98.24
Arsenopirita	0.38	0.00
Marcasita	1.12	100.00
Goethita	0.70	64.52
Gangas	41.67	98.51
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	

TABLA N°2				
TIPOS GEOMETRICOS DE ENTRELAZAMIENTOS DE LOS MINERALES Y SUS POSIBILIDADES DE LIBERACION COMPLETA				
Muestra No. :	MR-5			
MINERALES ENTRELAZADOS	TIPO ENTR.	NUM. PART.	DIST. PORC.	POSIBILIDADES DE LIBERACION COMPLETA
Particulas Libres		2594	96.97	
ef-cp	1dl	2	0.07	Imposible
ef-py	1aIV	6	0.22	Fácil
	1dl	12	0.45	Imposible
	4cII	6	0.22	Muy difícil a imposible
ef-apy	1aII	5	0.19	Fácil
	1cI	13	0.49	Imposible
gn-py	4cI	2	0.07	Muy difícil a imposible
gn-GGs	1bII	3	0.11	Moderadamente fácil
cc-GGs	1eI	1	0.04	Muy difícil a imposible
py-gt	4cI	6	0.22	Muy difícil a imposible
	4cII	6	0.22	Muy difícil a imposible
py-GGs	1dI	5	0.19	Imposible
	1dII	7	0.26	Imposible
gt-GGs	2aI	6	0.22	Muy difícil a imposible
cv-py-GGs	1eII	1	0.04	Muy difícil a imposible
<b>TOTAL</b>		<b>2675</b>	<b>100.00</b>	

Lima, 19 de Abril del 2023.



Ing. Pedro Miguel Gagliuffi Espinoza  
GERENTE GENERAL  
GEOEXPLORACIÓN INGENIEROS PERÚ S.A.C.  
"GEOEXINPESAC"

**FOTOMICROGRAFIAS**



Fot. 1. Partículas libres de pirita (py) y de pirita framboidal (py fr).500X.



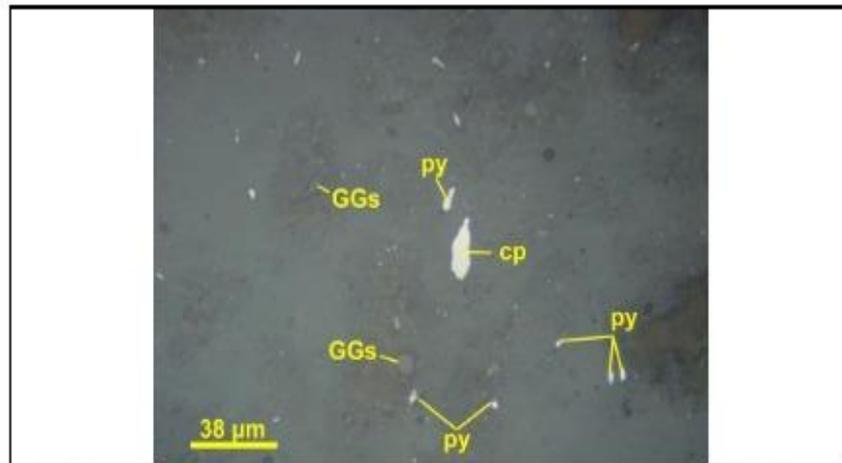
Fot. 2. La misma partícula de pirita framboidal (py fr) amplificada con el ocular del microscopio, donde se puede apreciar la recristalización de los framboides. 500X



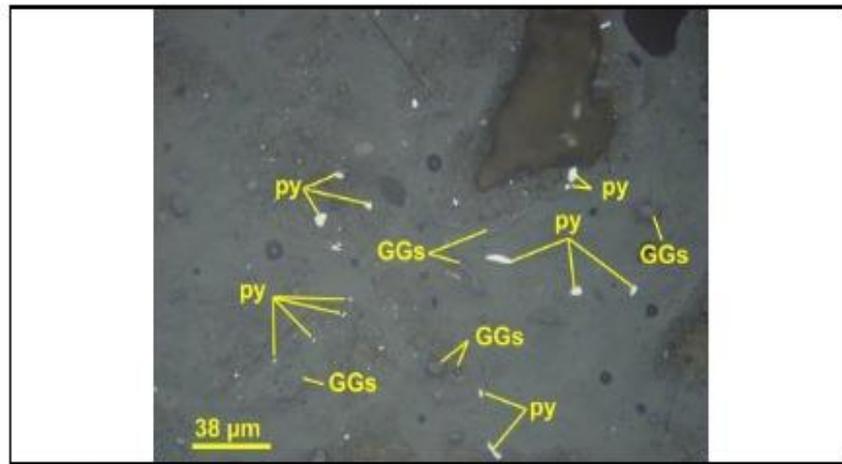
Fot. 3. Partículas libres de pirita (py) y de gangas (GGs); partícula entrelazada de esfalerita (ef) con la pirita (py). 500X.



Fot. 4. Partículas libres de esfalerita (ef), de calcopirita (cp), de pirita (py) y de gangas (GGs). 500X.



Fot. 5. Partículas libres de calcopirita (cp), de pirita (py) y de gangas (GGs). 500X.



Fot. 6. Partículas libres de pirita (py) y de gangas (GGs). 500X.

Lima, 19 de Abril del 2023.

Pedro Miguel Gagliuffi Espinoza  
GERENTE GENERAL  
GEOEXPLORACIÓN INGENIEROS PERÚ S.A.C.  
"GEOEXINPESAC"

## Anexo 2. Análisis geoquímico



REPORTE DE LABORATORIO N° L000021623

Pág. 1

Cliente:	DIANA CCARHUAYPIÑA ARAUJO	Orden de Trabajo:	
Dirección:	SIN	Fecha de Ingreso:	04/04/2023
RUC / DNI /Otros:	71837991	Fecha de Resultados:	07/04/2023
Atención:		Tipo de Ensayo:	ICP MULTIELEMENTOS
Referencias:	Mostrador	Cantidad de Muestras:	1

Código CHP	Descripción de la Muestra	Ag ppm	Al %	As ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Ca %	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm
125514	MUESTRA COMPUESTA	16.0	4.37	1435.0	317.0	4.0	<5	2.61	31.0	39.0	59.0
125514	MUESTRA COMPUESTA	Cu %	Fe %	K %	Mg %	Mn %	Mo ppm	Na %	Ni ppm	P ppm	Pb %
		0.21	>5.0	1.10	1.38	1.85	27.0	0.08	39.0	790.0	0.16
125514	MUESTRA COMPUESTA	Sb ppm	Se ppm	Sn ppm	Sr ppm	Ti %	V ppm	W ppm	Y ppm	Zn %	Zr ppm
		49.0	7.0	13.0	158.0	0.05	45.0	102.0	15.0	0.95	10.0

Notas:

VºBº

C.H. PLENGE & CIA. S.A.  
  
 ALICIA HUAMANTZARA  
 ING. QUIMICA CIP 32143

Los remanentes de las muestras se guardarán por un período de 3 meses, vencido el plazo se procederá al desecho de las mismas.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de C.H. PLENGE & CIA. S.A.

ORIGINAL

C.H. PLENGE & CIA. S.A.  
 Av. Del Ejército 1142, Miraflores, Lima 15074 - Perú  
 T. 441 3959 / 441 8106 Whatsapp 924 118 851  
 www.plengelab.pe

### Anexo 3. Análisis de potencial de hidrógeno en pasta



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 200**



## INFORME DE ENSAYO N° 071930-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA

### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Arroyo Avilez Fanny Ruth  
 Propietario / Productor : Arroyo Avilez Fanny Ruth  
 Dirección del cliente : Av. El Sol S/N - Uñas - Pallas - Huancayo  
 Solicitado por : Arroyo Avilez Fanny Ruth  
 Muestreado por : Cliente  
 Número de muestra(s) : 03 muestras  
 Producto declarado : Suelo (Suelo Agrícola)  
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico  
 Referencia del muestreo : Reservado por el cliente  
 Procedencia de muestra(s) : Morococha-Yauli-Junín  
 Fecha(s) de muestreo : 2023-06-15 (\*)  
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-07-25  
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare - LABSAF Santa Ana  
 Fecha(s) de análisis : 2023-05-05  
 Cotización del servicio : 214-23-SA  
 Fecha de emisión : 2023-05-15

### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU3096-SA-23	SU3097-SA-23	SU3098-SA-23	-	-	-
Matriz Analizada	Suelo (Suelo Agrícola)	Suelo (Suelo Agrícola)	Suelo (Suelo Agrícola)	-	-	-
Fecha de Muestreo	2023-06-15	2023-06-15	2023-06-15	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h)	15:00:00	15:00:00	15:00:00	-	-	-
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	MR01	MR02	MR03	-	-	-
<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>LC</b>	<b>Resultados</b>			
pH	unid. pH	0.1	6.8	6.9	7.0	-



**Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliare**  
 Acreditado con la Norma  
 NTP-ISO/IEC 17025:2017  
 Dirección: Carretera Saños Grande - Hualahoyo km. 8 Santa Ana, El Tambo - Huancayo - Junín

Página 1 de 2  
 P-4E / Ver.04  
 www.inia.gob.pe

---

**INFORME DE ENSAYO**  
N° 071930-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA

**III. METODOLOGÍA DE ENSAYO**

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004, Soil and waste pH.

**IV. CONSIDERACIONES**

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se refieren solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C

(\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

**V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO**

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Ing. Lidiana Alejandro Mendez - Responsable del laboratorio LABSAF Santa Ana.

---

Firma  
Ing. Ivana Cortéz Juro  
Directora EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO

---

## Anexo 4. Análisis de concentración de fierro sulfurado



### LABORATORIO DE ENSAYOS "AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"

#### INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-2023-043

<b>NOMBRE DEL CLIENTE</b>	: FANNY ARROYO AVILEZ.
<b>DOMICILIO LEGAL</b>	: NO DECLARA.
<b>SOLICITADO POR</b>	: FANNY ARROYO AVILEZ.
<b>REFERENCIA DEL CLIENTE</b>	: ANÁLISIS DE RELAVE PARA PROYECTO DE TESIS.
<b>PROCEDENCIA</b>	: RELAVERA HUASCACOCHA.
<b>ORDEN DE SERVICIO N°</b>	: AL/OS – 2023 – 080.
<b>CANTIDAD DE MUESTRAS</b>	: 02 BOLSAS HERMÉTICAS DE 1 Kg.
<b>FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA</b>	: 25/07/2023.
<b>PERIODO DE ENSAYO</b>	: 26/07/2023 – 03/08/2023.
<b>TOMA DE MUESTRA</b>	: POR EL CLIENTE.
<b>CONDICIÓN DE LA MUESTRA</b>	: LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

#### I. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MONITOREO:

Código del Cliente	Código de Laboratorio	Coordenadas		Fecha de Monitoreo	Hora de Monitoreo	Producto Declarado
		Este	Norte			
MR01	M-23115	0379137	8717698	15/06/2023	15:00 pm	Relave
MR02	M-23116	0379129	8717747	15/06/2023	15:00 pm	Relave

#### II. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método de Referencia	Descripción
Hierro	EPA METHOD 2050 B. Revision 2, 1996.	Fe, Acid Digestion of Sediments, sludges, and Soils.

#### III. RESULTADOS:



Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
MR01	Hierro	132.98	g/Kg
MR02	Hierro	136.37	g/Kg

Huancayo, 07 de Agosto del 2023

AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.  
 Mónica Elvira Quintana  
 JEFE DE LABORATORIO  
 0949 152012

LAB-FR-004 VERSION 02/1.E. 01/2022

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública. Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 15 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Página 1 de 1

Oficina principal: Av. Ferrocarril N° 661 – Chilca – Huancayo. Laboratorio: Av. Ferrocarril 5/N – Barrio Chanches - Huayucachi  
 Cel.: 998900666 - 95600691 Email: ambiental.lab@ambientallaboratorios.com.pe

## Anexo 5. Panel fotográfico



Trabajos en laboratorio para la determinación de pH en pasta, calibración del equipo y desinfección de los materiales a utilizar.

En la imagen de la izquierda se puede divisar el equipo para tomar datos de parámetros fisicoquímicos y en la imagen de la derecha, se encuentra la tesista tomando los datos obtenidos.