

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

**Optimización de neutralización de aguas ácidas para la
precipitación de metales a nivel laboratorio en la Empresa
Administradora Cerro S.A.C. – Pasco - 2023**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autores:

Bach. Jhon Yuliño VIGILIO PARDO

Bach. Mac Jesus PALACIOS MARCELO

Asesor:

Mg. Manuel Antonio HUAMÁN DE LA CRUZ

Cerro de Pasco – Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



T E S I S

**Optimización de neutralización de aguas ácidas para la
Pprecipitación de metales a nivel laboratorio en la Empresa
Administradora Cerro S.A.C. – Pasco - 2023**

Sustentado y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Rubén Edgar PALOMINO ISIDRO
PRESIDENTE

Mg. José Elí CASTILLO MONTALVÁN
MIEMBRO

Mg. Eusebio ROQUE HUAMÁN
MIEMBRO



**Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación**

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 124-2024-UNDAC/UIFI

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

Tesis:

Optimización de Neutralización de Aguas Ácidas para la Precipitación de Metales a Nivel Laboratorio en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. – Pasco – 2023

Apellidos y nombres de los tesisas:

**Bach. VIGILIO PARDO, Jhon Yuliño
Bach. PALACIOS MARCELO, Mac Jesus**

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. HUAMAN DE LA CRUZ, Manuel Antonio

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

27 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 23 de mayo del 2024



Firmado digitalmente por MEJIA
CACERES Reynaldo FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 23.05.2024 10:32:53 -05:00

DEDICATORIA

Hoy, con gran emoción y gratitud, dedico esta tesis a todos ustedes, a mis amados padres. Han sido mi fuente de amor, apoyo y fortaleza a lo largo de este desafiante viaje académico.

Desde el principio, han estado a mi lado, brindándome su inquebrantable fe en mis capacidades y alentándome a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. Sus palabras de aliento, sus abrazos reconfortantes y su confianza en mí han sido un faro de luz que me ha guiado en cada paso del camino.

Espero que esta dedicación sea un pequeño gesto para mostrar cuánto valoro su presencia en mi vida y cuánto les debo en mi camino hacia el éxito.

AGRADECIMIENTO

Hoy quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me brindaron su apoyo y contribuyeron de manera significativa en la realización de esta tesis. Ha sido un largo y desafiante camino, pero gracias a ustedes, he logrado alcanzar este importante hito en mi formación académica.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi asesor de tesis, Mg. HUAMAN DE LA CRUZ, Manuel Antonio, por su guía experta, paciencia y constante apoyo a lo largo de todo el proceso de investigación. Su vasto conocimiento y dedicación fueron fundamentales para llevar a cabo este trabajo de manera exitosa. También quiero expresar mi gratitud a los miembros del comité evaluador por su tiempo, comentarios y sugerencias constructivas que han enriquecido mi trabajo. Sus aportes críticos me han permitido mejorar la calidad y la profundidad de mi investigación.

No puedo dejar de mencionar a mis compañeros y amigos, quienes me brindaron su aliento y comprensión durante los momentos de estrés y dudas. Su apoyo incondicional me impulsó a seguir adelante y a superar los obstáculos que se presentaron en el camino. Además, quiero agradecer a mi familia por su amor, paciencia y constante apoyo a lo largo de esta etapa. Su fe en mí y su ánimo inquebrantable fueron la fuerza que necesitaba para perseverar y alcanzar este logro.

Gracias nuevamente a todos los que hicieron posible este logro.

Con gratitud

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, el objetivo fundamental fue la remoción de minerales metálicos solubilizados en el agua ácida de mina, usando la neutralización activa con cal viva, el proceso de investigación se realizó en tres etapas: primero se realizó la caracterización de las muestras, teniendo como resultado de las 8 muestras un pH de 1,5; en seguida con dos muestras se cumplió con los ensayos preliminares con la finalidad de determinar la cantidad de cal que se debe dosificar y el tiempo de agitación en los diversos ensayos experimentales; la segunda etapa fue la realización de la investigación mediante el diseño factorial, obteniendo resultados muy satisfactorios, ver tabla 8 y la última etapa fue la optimización de la precipitación especialmente hierro y plomo, ver tabla 16; se llegó a obtener precipitados de 54,60 ppm de Pb y 144,20 ppm de Fe, teniendo como factores principales de manipulación la dosificación de cal viva para controlar el pH de precipitación, siendo el consumo final de 36 gramos y el tiempo de agitación, siendo 14 minutos, finalmente la dosificación del floculante al 0,01% fue de 1 a 2 gotas con finalidad de acelerar la filtración del agua. El agua resultante cumple con el D.S. N°015-2015-MINAM Estándares de Calidad de Agua.

Palabras clave: agua ácida; optimización; cal viva; floculante.

ABSTRACT

In the present research work, the fundamental objective was the removal of metallic minerals solubilized in the acid mine water, using active neutralization with quicklime. The research process was carried out in three stages: first, the characterization of the samples was carried out. , resulting in a pH of 1,5 from the 8 samples; Next, with two samples, the preliminary tests were carried out in order to determine the amount of lime that should be dosed and the stirring time in the various experimental tests; The second stage was carrying out the research using the factorial design, obtaining very satisfactory results, see table 8 and the last stage was the optimization of precipitation, especially iron and lead, according to table 16; Precipitates of 54,60 ppm of Pb and 144,20 ppm of Fe were obtained, with the main handling factors being the dosage of quicklime to control the pH of precipitation, with the final consumption being 36 grams and the stirring time, being 14 minutes, finally the dosage of the 0,01% flocculant was 1 to 2 drops in order to accelerate the filtration of the water. The resulting water complies with S.D. N°015-2015-MINAM Water Quality Standards.

Keyword: acidic water; optimization; quicklime; flocculant

INTRODUCCIÓN

El drenaje ácido de mina (DAM) es un problema en la mayoría de los sectores mineros polimetálicos, metales preciosos y carbón en el mundo; estas aguas se forman cuando los sulfuros mineralógicos de las labores subterráneas, rocas de desmontes, relaves y otros componentes de las minas, son expuestos al aire y agua superficial.

Estas aguas ácidas, ocasionan la agresión ambiental, contaminando al suelo; flora y fauna; las empresas mineras a pesar de recursos escasos vinieron enfrentando para salvar la contaminación al medio ambiente; la Ley General de Minería obliga a los titulares de la actividad minera usar métodos y técnicas para mitigar la contaminación ambiental o cumplir con las normas ambientales. En la mayoría de casos las empresas mineras procesan minerales tales como la esfalerita (ZnS), galena (PbS), calcopirita ($CuFeS_2$), cerusita (CO_3Pb), pirita (S_2Fe), arsenopirita ($FeAsS$), marcasita (FeS_2), magnetita (Fe_3O_4), Hematita (Fe_2O_3), Goethita ($HFeO_2$); estos minerales son las que generan drenaje ácido de mina (DAM).

La tarea muy importante en el trabajo de investigación del tema de aguas ácidas es la identificación de las variables y factores, en seguida se realiza las formulaciones de problemas, objetivos y las hipótesis continuando con la justificación del trabajo de investigación. Después de todos los análisis, se ingresa a la investigación experimental mediante diseños experimentales en el laboratorio para encontrar el mejor tratamiento, se finaliza con las interpretaciones o análisis de los resultados o datos primarios encontrados en el laboratorio, haciendo uso de la técnica estadística con el Software estadístico más apropiado.

Las etapas de tratamiento de las aguas ácidas son: muestreo, caracterización o análisis fisicoquímico de las muestras; pruebas experimentales preliminares de tratamiento de las aguas ácidas controlando factores experimentales del proceso de

neutralización de las aguas ácidas; después de varios ensayos en el laboratorio se logró seleccionar como factores principales o más significativos la dosificación de cal viva, tiempo de agitación y dosificación de floculante.

En el presente caso de investigación es aplicada experimentalmente en los efluentes ácidos de mina que se caracteriza por presentar elevado pH ácido cercanos al cero a 1,5; alto contenido de metales solubilizados principalmente iones de metales pesados en distintas concentraciones de elementos como el hierro, plomo, cobre y zinc, ver tabla 4 y 5.

Durante proceso de optimización para la precipitación de metales solubilizados se usa modelos matemáticos empíricos de segundo orden, utilizados en los procesos metalúrgicos; inicialmente en la selección de factores o variables experimentales, se usa modelos de primer orden, una vez seleccionado los factores más representativos para la obtención de mejores respuestas de precipitación, además si el gráfico de superficie respuesta es un hiperplano, significa que el modelo de primer orden es adecuado para pasar a un modelo de segundo orden. En el presente caso las variables de entrada más representativos son la dosificación de cal viva y tiempo de agitación. Ver resultados y otros en la tabla 8.

Para la culminación del trabajo de investigación se efectúan ensayos experimentales de confirmación usando el Diseño Central Compuesto (DCC) o diseño estadístico de experimentos (DEE), ampliamente aplicados para la construcción de modelos de superficie respuesta de segundo orden. Uno determina el mejor ANOVA, los datos primarios obtenidos son procesados o analizados e interpretados estadísticamente con la ayuda del Statgraphics Centurion, para ello solamente se observa especialmente la primera y última columna de la Tabla de ANOVA, según ella, en el caso del pH la H_0 es rechazada; pero en el caso del tiempo de agitación H_0 no es rechazada para el nivel de

significancia de 5% y nivel de confianza al 95%. Ver tabla 17, para la precipitación óptima ver tabla 16.

Finalmente, la investigación a nivel laboratorio indica que el experimento en pequeña escala, proporciona una información práctica de mucho valor para diseñar un programa a gran escala.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1. Delimitación teórica o conceptual	3
1.2.2. Delimitación espacial.....	4
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.3.1. Problema general	4
1.3.2. Problemas específicos.....	4
1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO.....	8
-----------------------------------	---

2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	8
2.1.2. Antecedentes nacionales	10
2.1.3. Antecedentes regionales	12
2.2. BASES TEÓRICAS - CIENTÍFICAS.....	14
2.2.1. Aguas ácidas.	14
2.2.2. Formación de las aguas ácidas de mina.....	15
2.2.3. Factores para la generación de aguas ácidas.....	17
2.2.4. Categoría de drenajes de mina.....	18
2.2.5. Propósito de la investigación.....	20
2.2.6. Drenaje de ácidos de mina.....	21
2.2.7. Métodos de remediación ambiental de las aguas ácidas.....	21
2.2.8. Límites máximos permisibles	22
2.2.9. Ensayo experimental discontinua en el laboratorio (neutralización).....	23
2.2.10. Neutralización del pH del agua.....	24
2.2.11. Tratamiento de drenajes ácidos.....	25
2.2.12. Uso de los floculante.....	26
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	27
2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	29
2.4.1. Hipótesis general.....	29
2.4.2. Hipótesis específica	29
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	29
2.5.1. Variable independiente.....	29
2.5.2. Variable dependiente.....	29
2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES	29

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	31
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	31
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	31
3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	32
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA	33
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	35
3.6.1. Técnicas de recolección de datos.....	35
3.6.2. Instrumentos de recolección de datos.....	35
3.7. SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	36
3.7.1. Selección de los instrumentos de investigación.....	36
3.7.2. Validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	37
3.8. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	37
3.8.1. Técnicas de procesamiento de datos.....	37
3.8.2. Técnicas de análisis de datos	38
3.9. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....	39
3.10. ORIENTACIÓN ÉTICA FILOSÓFICA Y EPISTÉMICA	39

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.....	40
4.1.1. Toma de muestras de agua de mina y presentación.....	41
4.1.2. Análisis fisicoquímico de la muestra de agua mina.....	41
4.1.3. Preparación de los reactivos	43

4.1.4. Presentación de las muestras para los ensayos experimentales en el laboratorio.....	45
4.1.5. Pruebas preliminares de neutralización dinámica.....	46
4.2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	51
4.2.1. Optimización con el diseño estadístico de experimentos (DEE).....	58
4.2.2. Presentación de los resultados de optimización.....	59
4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS	66
4.3.1. Hipótesis general.....	66
4.3.2. Hipótesis específica	70
4.3.3. Prueba de hipótesis de trabajo.	72
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	74

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 CLASIFICACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE MINA.	19
TABLA 2 CLASIFICACIÓN DE DRENAJES EN FUNCIÓN DEL PH Y EL POTENCIAL DE ACIDEZ/ALCALINIDAD.	20
TABLA 3 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE LAS AGUAS.	23
TABLA 4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	30
TABLA 5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS MUESTRAS Y DE LA MEZCLA.	42
TABLA 6 ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA .	43
TABLA 7 FACTORES EXPERIMENTALES DE LA PRIMERA FASE DE PRECIPITACIÓN DE LOS METALES PESADOS .	48
TABLA 8 DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA PRIMERA ETAPA .	48
TABLA 9 RESULTADOS DE LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES SEGÚN TABLA 7.	51
TABLA 10 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA FE - PRECIPITACIÓN DE METALES SOLUBILIZADOS.	52
TABLA 11 META: MAXIMIZAR PRECIPITACIÓN DEL HIERRO.	54
TABLA 12 VALORES PARA OPTIMIZAR LA PRECIPITACIÓN DE HIERRO.	55
TABLA 13 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA PB - PRECIPITACIÓN DE METALES SOLUBILIZADOS.	55
TABLA 14 VALORES ÓPTIMOS PARA LA PRECIPITACIÓN OPTIMA DEL PLOMO.	57
TABLA 15 VALORES PARA OPTIMIZAR LA PRECIPITACIÓN DEL PLOMO.	58
TABLA 16 DISEÑO EXPERIMENTAL DE OPTIMIZACIÓN.	59
TABLA 17 RESULTADOS DEL PROCESO DE OPTIMIZACIÓN DE PRECIPITACIÓN.	59
TABLA 18 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA PRECIPITACIÓN DE FE - MEJORAR LA PRECIPITACIÓN.	60

TABLA 19 COEFICIENTE. DE REGRESIÓN PARA PRECIPITACIÓN DE FE - MEJORAR LA PRECIPITACIÓN.	62
TABLA 20 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA PRECIPITACIÓN DE PB - MEJORAR LA PRECIPITACIÓN.	64
TABLA 21 COEFICIENTE DE REGRESIÓN PARA LA PRECIPITACIÓN DE PLOMO.	65

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 ETAPAS EN LA FORMACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS.	17
FIGURA 2 EQUIPO UTILIZADO PARA LAS PRUEBAS DE NEUTRALIZACIÓN-PRECIPITACIÓN.	24
FIGURA 3 PLANTA CONVENCIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS.	26
FIGURA 4 ENSAYOS EXPERIMENTALES DE NEUTRALIZACIÓN EN EL LABORATORIO.	36
FIGURA 5 PRESENTACIÓN DE LAS 8 MUESTRAS.	42
FIGURA 6 ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE AGUAS ÁCIDAS.	43
FIGURA 7 PREPARACIÓN DE LOS REACTIVOS.	44
FIGURA 8 PREPARACIÓN DEL FLOCULANTE EN LA EMPRESA.	45
FIGURA 9 PREPARACIÓN DEL FLOCULANTE EN LA UNDAC.	45
FIGURA 10 MUESTRAS DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA.	46
FIGURA 11 SE MUESTRA LA PRECIPITACIÓN DEL HIERRO Y COBRE.	49
FIGURA 12 HIERRO PRECIPITADO A UN PH 7,5.	49
FIGURA 13 PRECIPITACIÓN DE TODOS LOS METALES SOLUBILIZADOS.	50
FIGURA 14 DIAGRAMA DE PARETO ESTANDARIZADA PARA HIERRO.	52
FIGURA 15 EFECTOS PRINCIPALES PARA LA PRECIPITACIÓN DE HIERRO.	53
FIGURA 16 SUPERFICIE DE RESPUESTA ESTIMADA DE LA PRECIPITACIÓN DEL HIERRO.	53
FIGURA 17 DIAGRAMA DE PARETO ESTANDARIZADA PARA PLOMO.	56
FIGURA 18 EFECTOS PRINCIPALES PARA LA PRECIPITACIÓN DEL PLOMO.	56
FIGURA 19 SUPERFICIE DE RESPUESTA ESTIMADA PARA LA PRECIPITACIÓN DEL PLOMO.	57
FIGURA 20 DIAGRAMA DE PARETO ESTANDARIZADA PARA PRECIPITACIÓN DE FE.	60
FIGURA 21 INTERACCIÓN DE LOS FACTORES EN LA PRECIPITACIÓN DEL HIERRO.	62
FIGURA 22 SUPERFICIE DE SUPERFICIE ESTIMADA.	63
FIGURA 23 DIAGRAMA DE PARETO ESTANDARIZADA PARA LA PRECIPITACIÓN DE PLOMO	64

FIGURA 24 INTERACCIÓN DE LOS FACTORES PARA LA PRECIPITACIÓN DE PLOMO.	65
FIGURA 25 SUPERFICIE DE RESPUESTA ESTIMADA PARA LA PRECIPITACIÓN DEL PLOMO.	65
FIGURA 26 DISTRIBUCIÓN DE FISHER PARA EL HIERRO.	68
FIGURA 27 DISTRIBUCIÓN FISHER PARA EL PLOMO.	70

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Durante la redacción del planteamiento del problema es importante dar respuesta a las posibles inquietudes que surjan en el lector, por ejemplo ¿Cuál es el fenómeno, sujetos, situación o hecho que se desea estudiar? ¿Cuáles son las características de ese fenómeno, sujeto situación o hecho que deseo estudiar? ¿Dónde, cómo y cuándo se manifiesta? ¿Cuáles son las razones por las que se manifiesta (aquí los estudios previos nos apoyan)? ¿Qué pretende hacer en la investigación respecto al fenómeno, situación o hecho que desea estudiar? ¿Para qué lo hace? (Mousalli Kayat, 2016, p. 8)

Se establece el problema, los objetivos, las razones y las debilidades que se han presentado para la realización del trabajo de investigación (Universidad Jaime Bausate y Meza, 2016, p. 8)

Según afirma Lottermoser, (2007); que la minería, a través de los siglos, ha formado parte de la historia y el desarrollo económico de los países; sin

embargo, como cualquier actividad productiva ha venido generando enormes impactos ambientales, uno de los principales problemas generado en la minería de metales y carbón es la generación de drenaje ácido de mina (Jimenez Huallpa C. C., 2017, p. 21)

Esta ausencia de normas ambientales sobre cuidado ambiental en el pasado, no sólo en el Perú sino en muchos países, la antigüedad de sus instalaciones, su ubicación en áreas urbanas, la notable falta de recursos financieros, no sólo para modernizar sus instalaciones si no, lo que es más grave, para asegurar su continuidad en el mediano y largo plazo, explican la magnitud de la agresión ambiental, que las empresas a pesar de sus escasos recursos, han venido enfrentando, cada una con sus propias características y esfuerzos (Aponte Espinoza, 2020, p. 41)

La intensa actividad minera de los mineros formales e informales a través de los años se producen enormes problemas de contaminación ambiental, aspectos negativos para el ecosistema terrestre y acuático. Uno de los grandes problemas negativos es la acidificación de las aguas subterráneas y superficiales, conocido o llamado drenaje ácido de minas (DAM), con la consecuente disolución de metales pesados, también muy contaminantes a la vida acuática y terrestre.

Por lo tanto, en el Perú y en otros países el problema común de los yacimientos mineros dedicadas a la extracción de metales, es la generación de drenaje ácido de mina (DAM), esta problemática requiere atención especial y urgente. Este tipo de aguas ácidas producidos por la minería al no ser controladas o tratadas en su debido tiempo, provocan la contaminación y daño en la calidad

de aguas superficiales y subterráneas, teniendo como consecuencia negativa el deterioro del ecosistema con desaparición de la vida de especies acuáticas.

El drenaje ácido minero (AMD) plantea el mayor problema ambiental, en la Empresa Administradora Cerro S.A.C., siendo responsabilidad minera, los minerales formadores de ácido, formando aguas ácidas con alto contenido de metales pesados sobrepasando los límites máximos permisibles establecidos por el MINAN.

Teniendo lixiviados de sulfuros, sulfatos, presentes en las des monteras, así mismo el drenaje ácido de mina de la Empresa Administradora Cerro S.A.C pueden causar efectos adversos a largo plazo sobre ríos, arroyos y organismos acuáticos, verdaderamente una "máquina de contaminación permanente".

Por las razones expuestas líneas arriba, se hace necesario la investigación científica, en el presente caso a realizarse se tendrá como tema principal la optimización de la neutralización y sedimentación de las sales disueltas por las aguas ácidas producidos por las labores mineras de la Empresa Administradora Cerro S.A.C.; los factores tales como la concentración del reactivo neutralizante, reactivo precipitante, reactivo floculante y otros; serán manipulados intencionalmente; este trabajo fue desarrollado en las instalaciones del Laboratorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de la ciudad de Pasco.

1.2. Delimitación de la investigación

Delimitar un tema de estudio significa, enfocar en términos concretos nuestra área de interés, especificar sus alcances, determinar sus límites. Es decir, llevar el problema de investigación de una situación o dificultad muy grande de difícil solución a una realidad concreta, fácil de manejar (Moreno Galindo, 2021).

1.2.1. Delimitación teórica o conceptual

Los aspectos teóricos necesarios para el desarrollo de la investigación científica son los conceptos fundamentales de drenaje ácido minero, procesamiento de aguas ácidas, conocimiento de reactivos, dosificación de reactivos y sus propiedades fisicoquímicas, optimización, manejo de programas estadísticos, etc.

En este aspecto la delimitación conceptual es: Optimización de Neutralización de Aguas Ácidas

1.2.2. Delimitación espacial

El trabajo de investigación se encuentra ubicado en:

- **País:** Perú
- **Región:** Pasco
- **Departamento:** Pasco
- **Provincia:** Pasco
- **Distrito:** Simón Bolívar

1.2.3. Delimitación temporal

La delimitación temporal en el presente proyecto es: de **Abril- Junio-Año 2023.**

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera se efectúa la optimización de neutralización de aguas ácidas para la precipitación de metales a nivel laboratorio en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. – Pasco – 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿En qué medida influye el pH en la precipitación de metales?
- b) ¿En qué medida el tiempo de reacción favorece la precipitación de metales?

- c) ¿Cuál es la relación del floculante para la precipitación de metales?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la optimización de neutralización de aguas ácidas para la precipitación de metales a nivel laboratorio en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. – Pasco - 2023

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el pH adecuado para la precipitación de metales
- b) Determinar el tiempo de agitación para la precipitación de metales
- c) Determinar la dosificación adecuada del floculante para la precipitación de metales

1.5. Justificación de la investigación

“En lo particular, se entiende por justificación las razones que dan lugar a la investigación, las cuales deben tener un peso suficiente para demostrar que la investigación debe ser realizada” (Sáenz López y Gerardo Tamez González, 2014, p. 52).

La investigación cuantitativa surge en las ciencias naturales y posteriormente es transferida a los estudios sociales; se caracteriza por ser objetiva y deductiva, producto de los diferentes procesos experimentales que pueden ser medibles, su objeto de estudio permite realizar proyecciones, generalizaciones o relaciones en una población o entre poblaciones a través de inferencias estadísticas establecidas en una muestra

La realización del presente trabajo de investigación es factible, conveniente, utilidad metodológica o de utilidad teórica-práctica. Finalmente se obtiene la relevancia o excelencia social con la optimización del drenaje de aguas ácidas

mineras para la precipitación óptima, de esa manera evitar la contaminación de los líquidos superficiales y subterráneas o para minimizar los potenciales impactos negativos que puede originarse durante las operaciones mineras y al ecosistema.

1.6. Limitaciones de la investigación

Todo estudio de investigación se presenta o tienen sus limitaciones, que pueden afectar a las conclusiones, fundamentalmente en el enfoque cuantitativo.

Las limitaciones son los problemas que se me presentaron durante el desarrollo de la investigación, entonces estos problemas deben ser resueltos por el propio investigador.

Las limitaciones de la investigación son:

El tema principal de la investigación realizada es la neutralización y precipitación de metales disueltos en aguas ácidas vertidas y de drenaje en la unidad minera Empresa Administradora Cerro S.A.C. debido a que el ingreso a las instalaciones es limitado, por lo tanto, se realizó a nivel de laboratorio y dada la poca bibliografía y datos en la industria minera de la región.

- Limitaciones políticas de la empresa
- Falta de datos confiables
- Tamaño de la muestra.
- Poca información relacionada al tema de investigación
- Efectos longitudinales para el desarrollo de la tesis
- Plazos para culminar la investigación.

Para solucionar las limitaciones se, solicitaron los permisos a la empresa, al director de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica. Para el tamaño de muestra que es infinita se recolectó información de diferentes autores, teniendo así una información casi nula relacionado al tema. Se tomaron muestras

que luego fueron analizados en laboratorio y estos resultados fueron interpretados para el desarrollo del efecto longitudinal en la tesis. El tiempo establecido para la elaboración de las pruebas fueron coordinados mediante la disposición de los laboratorios de la empresa y de la universidad para la recolección de datos y su debida interpretación. La investigación tuvo un tiempo de duración de 4 meses. Para la obtención de la muestra se solicitaron los permisos a las correspondientes áreas. Los diferentes tipos de reactivos se obtuvieron del mercado se levantarán. De tal manera que se pudo realizar la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Los antecedentes de la presente investigación estarán constituidos por los trabajos de investigaciones o tesis relacionadas al problema o fenómeno de investigación. En el presente caso de estudio los antecedentes son:

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Delgado Rodríguez (2018), en su artículo de investigación “Sistema de tratamiento para mejorar la calidad de aguas de drenaje de pasivos ambientales mineros en la cuenca del río Puyango (Ecuador)” concluye lo siguiente.

La generación incipiente de DAM en la cuenca del Puyango ha podido ser contrastada a través de este estudio. El poder neutralizador natural de la cuenca del Puyango no puede ser argumento para no tratar efluentes mineros altamente contaminantes.

En este sentido, el sistema de tratamiento pasivo respondió positivamente durante los 7 meses de experimentación en laboratorio, retirando cantidades de metales incluso por encima de lo conseguido con anterioridad por otros sistemas.

Zamora Echenique (2014), en su artículo de investigación “Estudio técnico, económico y ambiental del tratamiento de las aguas ácidas de la mina San José” afirma que el drenaje ácido generado en el interior de la mina San José, con valores de pH de 1,2 – 2,5, es bombeado al exterior con un caudal de 8 m³/s, con el fin de mantener accesibles los niveles más profundos para la explotación minera; atraviesa parte de la ciudad de Oruro, y finalmente desemboca gradualmente en el lago Uru Uru, generando un fuerte impacto ambiental por la elevada carga de metales pesados tóxicos disueltos. Concluye lo siguiente.

De los resultados de la valoración técnica, económica, ambiental y social, se concluye que “la mejor alternativa para el tratamiento de las aguas ácidas de la mina San José es por Neutralización – Precipitación con cal y separación sólido-líquido en interior mina”.

Chaparro Corso & Ruiz Ardilla (2018) en su tesis “Evaluación a escala de laboratorio del gradiente de acidez de drenaje ácido de mina, mediante el uso de columnas de caliza como sistema pasivo de neutralización”. Concluye lo siguiente:

La variación del nivel de pH del agua ácida tratada por el sistema de neutralización de columnas de caliza depende de la granulometría de caliza, del banco de caliza, el tiempo de residencia y por consiguiente el caudal de salida. De las pruebas de neutralización a través del tiempo se concluye que las granulometrías de menor tamaño tienen mayor capacidad de neutralización de acidez a comparación con las de mayor tamaño independientemente del banco al que pertenecen. también recomienda. la realización de ensayos de medición de

concentraciones de Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} y Al^{3+} . De esta forma se determinaría su eficiencia en la remoción de metales pesados e incluso determinar las ecuaciones estequiométricas de las reacciones involucradas en la neutralización de acidez de DAM mediante el sistema de tratamiento de columnas de caliza.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Jimenez Huallpa C. C. (2017), en su tesis “Eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con lechada de cal de la Unidad Minera Arasi – Puno” concluye lo siguiente.

El sistema de tratamiento de aguas acidas mediante Lechada de Cal demostró una eficiencia de remoción de 78.65% en los parámetros inorgánicos (metales totales), mientras que en los parámetros físico –químicos, se obtuvo un valor de pH de 8.1, oxígeno disuelto de 5.54 mg/l y conductividad de 3.14 mS/cm, esto nos da entender que dichas aguas son aptas para la bebida de animales.

Vizcarra Arana (2017), en su tesis “Neutralizacion del agua acida de mina mediante infiltracion en rocas sedimentarias tipo lutitas calcareas y calizas en la mina madrugada de minera huinac sac. La merced – aija - Ancash – 2014” concluye lo siguiente.

El drenaje acido de mina se caracteriza por tener un pH promedio de entrada de 2.222 y el promedio de salida de los ojos de agua salientes es de 7.180, quedando así demostrado la acción neutralizadora de las rocas sedimentarias calcáreas.

El potencial de neutralización de la caliza es de 0.055 kg/l x h, lo que quiere decir que para neutralizar un litro de agua ácida de mina necesitamos 0.055kg., de caliza en una hora.

Bardales Shuña & Vilcazan Mamani (2019), en su informe de investigación “Neutralización de aguas ácidas con elevada concentración de metales”.concluye lo siguiente.

Los pasivos mineros ambientales y los drenajes ácidos de mina presentan un alto impacto a los sistemas suelo, agua y aire e incluso llegando a afectar la salud humana. Esta preocupación ha hecho que se busque nuevas alternativas en prevención, tratamiento y minimización de sus consecuencias. Se ha evaluado y analizado estudios primarios en tratamiento de aguas ácidas, encontrándose métodos de prevención y tratamiento pasivo, debido a los bajos costos y disponibilidad en el acceso a los recursos. Por tanto, existen métodos de prevención y tratamiento pasivo y accesibles para la neutralización de los drenajes ácidos de mina, en la prevención de la generación de las aguas acidas los autores recomiendan una adecuada gestión y preparación de manera paralela una barrera de neutralización con componentes concentradores de agentes generadores de alcalinidad como piedras carbonatadas, compost de champiñones y materia orgánica como correctores en la formación de los drenajes ácidos de mina.

Vargas Sacha y otros (2021), en su artículo de investigación “Tratamiento de Aguas Ácidas de Mina” concluye lo siguiente.

El desarrollo de las AAM o drenaje ácido de mina es un proceso que depende del tiempo y comprende las reacciones químicas de oxidación como fenómenos físicos relacionados y en cada etapa de la actividad minera como la subterránea y tajo abierto.

Existen métodos activos y pasivos para el tratamiento de AAM, siendo lo más adecuado y rentable los tratamientos del método pasivo, proporcionando un entorno medio ambiental equilibrado con la naturaleza, en estos modelos persiste

la biorremediación donde se utilizan plantas y microorganismos que absorben los metales pesados del agua.

Gallardo Díaz & Acuña Bustamante (2020), en su tesis “Procesos De Neutralización, Directo Y Por Etapas, Para Remover Metales Del Drenaje Ácido De Mina Algamarca, 2020”.concluye lo siguiente.

La calidad del drenaje acido de mina no cumplia en los parametros exigidos en los LMPs para el caso de hierro, cobre, arsenico, zinc, cadmio, mercurio y pH.

La calidad del agua tratada mediante los procesos de neutralizacio en dos etapas y la neutralizacion directa cumplen con los parametros descritos en los LMPs. Tambien recomienda. Realizar investigaciones futuras comparando otras sustancias neutralizantes.

Realizar investigaciones comparando en mas de dos etapas fijando mas rangos de pH de neutralizacion, como pueden ser a pH 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 7.0 y 8.0.

Realizar precipitaciones midiendo el potencial oxido reduccion para ver las condiciones del proceso que se desarrolla el precipitado.

2.1.3. Antecedentes regionales

(Tumialán, pp. 250-251), en su artículo de investigación “Recuperación selectiva de metales en aguas ácidas, Cerro de Pasco”.

Pretende demostrar que la acides del agua, con un pH 1.0 contiene abundancia en hierro zinc y cobre, que desarrollo en Cerro de Pasco, teniendo una recuperación de cobre con chatarra y seguido de la precipitación de hierro y zinc por oxidación y utilizando lecha de cal.

Concluye lo siguiente: La separación de hierro disuelto en la solución pobre de cementación de cobre, es altamente selectiva utilizando un proceso que combina la oxidación y precipitación controlada en pH ácido

(REVATTA, 2007, p. 80), en su tesis “Mitigación de aguas ácidas provenientes de las minas subterráneas-caso Huarón” En la mina Huarón se utilizó cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (lechada de cal) por el contenido de grandes caudales y alta acidez. Como la cal hidratada es hidrófoba, se realizó una mezcla con el agua, se precisa de un dispositivo de agitación en la formación de la lechada (tanque) con la finalidad de adicionar y eliminar el hierro, en el proceso de la turbulencia natural, en este proceso no se requirió aireación. Concluye lo siguiente.

De acuerdo a los monitoreos realizados de abril a Junio del 2006, después de haber realizado la mitigación de las aguas acidas mediante la técnica de tratamiento de aguas ácidas por el método Neutralización, Floculación y Sedimentación (NFS) con la aplicación del uso de cal se logró a cumplir los límites máximos permisibles según la R.M. 011-96 EM/VMM y la Ley general de aguas Clase III,

(VITOR, 2019, p. 13), en su tesis “Tratamiento de aguas ácidas para la obtención de agua tipo III en la Sociedad Minera El Brocal S.A.A. – Tinyahuarco Pasco – 2019” El drenaje ácido se refiere a: drenaje contaminado que resulta de la oxidación de minerales sulfurados y lixiviación de metales asociados, provenientes de las rocas sulfurosas cuando son expuestas al aire y al agua. Concluye lo siguiente:

En la planta piloto instalada se está tratando las aguas ácidas que han sido bombeadas desde las operaciones mineras, metalúrgicas. En el cual se logra captar los metales disueltos y obtener agua para riego. Para el tratamiento de las aguas

ácidas se hecho uso de carbonato de calcio, y carbón activado en las columnas de la planta piloto.

2.2. Bases teóricas - científicas

En los procesos de investigación cuantitativa, el investigador realiza registros narrativos y numéricos del problema o fenómeno que se somete ser estudiados o analizados mediante procedimientos y técnicas, tales como: la recolección de información; observaciones científicas en el laboratorio, uso programas estadísticos y otras herramientas que son usados en la investigación científica de enfoque cuantitativo o mixto.

En el presente caso de investigación se hace uso de estas herramientas, con la finalidad de optimizar el tratamiento de aguas mineras para la separación de los metales solubilizados mediante la precipitación.(Esther & Echenique, 2017, p. 26)

2.2.1. Aguas ácidas.

Presentan una complicación geoquímica, que intervienen variedades de desarrollo de interacción en las aguas subterráneas y superficiales, así mismo los gases (oxígeno atmosférico), minerales presentes en la formación de acidez y que intervienen en la intensidad natural de los elementos disueltos y distintos tipos de la acción biológica (Vargas Sacha y otros, 2021, p. 179)

Todas las aguas ácidas producidos en el interior de las minas abandonadas y/o en operación; lo mismo los pasivos ambientales, hoy en día es una de las fuentes principales de contaminación al medio ambiente en muchas regiones mineras, esto se debe a la presencia de metales pesados solubilizados en forma natural, formando aguas fuertemente ácidas.

El gran problema que se presenta en la minería es la presencia de aguas ácidas; la acidez se origina debido al contacto con los sulfuros, que se encuentran

en las grandes mineralizaciones, estos minerales se oxidan con facilidad con la presencia de oxígeno y agua, siendo el principal mineral sulfuroso la pirita que origina las aguas ácidas.

Si las aguas ácidas mineras no son controladas ni gestionadas en su debido tiempo en forma adecuada, estas aguas se convierten en una gran amenaza para el ecosistema de la vida terrestre o acuática.

Las características de las aguas ácidas de mina son:

- Son altamente corrosivos.
- Los metales solubilizados en agua de mina, entonces las aguas son más tóxicos.
- Las aguas ácidas generan daños irreparables a los sistemas acuáticos.
- Afectan la calidad de las aguas subterráneas, superficiales y acuíferos.
- Las comunidades locales son perjudicadas, porque no usar en ninguna actividad.
- El ecosistema fluvial se va degradando, finalmente no hay ninguna forma de vida acuática

Las aguas ácidas de mina se caracterizan por su bajo pH (normalmente entre 2 y 6), por sus altos contenidos en sulfatos (a veces hasta 3500 ppm), y por los elevados contenidos en metales (Mn^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Mo^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} y Zn^{2+}) en solución (Forigua, Fonseca y Vásquez, 2017, citado por Arismendy Vidales, 2020, p. 57).

2.2.2. Formación de las aguas ácidas de mina

Las características principales de los efluentes ácidos son su bajo pH (llegándose a niveles de pH cercanos a 2), su alto contenido de iones (principalmente sulfatos e iones metálicos) y acidez muy alta (a niveles próximos

a los 5 000 mg deCaCO₃ equivalente por litro); otra característica importante del drenaje ácido de mina es su gran capacidad para movilizar metales pesados que puedan estar presentes en los sulfuros. Como iones metálicos en distintas concentraciones de elementos como hierro, magnesio, aluminio, manganeso, cobre, zinc, plomo, etc. (Aponte Espinoza, 2020, p. 45)

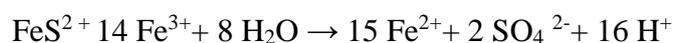
Como ya se ha mencionado, la formación de aguas ácidas tiene lugar a partir de la oxidación química de los sulfuros, acelerada en muchos casos por la acción de algunas bacterias acidófilas como Thiobacillus ferrooxidans. Estos microbios son capaces de sobrevivir a pH bajo y catalizar la oxidación de pirita donde se obtiene energía por la oxidación de FeO (Dutta et al., 2017, citado por Arismendy Vidales, 2020, p. 56).

A valores de pH entre 3,5 a 4,5 el ion férrico es catalizado por la bacteria Metallogenium y a pH por debajo de 3,5 la reacción es catalizada por la bacteria Thiobacillus ferrooxidans. Por lo general, a pH entre 2,3 a 3,5 el ion férrico por hidrólisis precipita como hidróxido Fe(OH)₃(sólidos de color amarillo, naranja o rojo), lo que provoca un descenso del pH (Aduvire O. , 2006, p. 9)

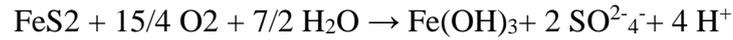
La ecuación química para la formación de aguas ácidas de mina, es la siguiente:



La mayoría de los cationes férricos (Fe³⁺) que son precipitados en la solución, continúan oxidándose adicionalmente a la pirita (catálisis) para formar nuevamente iones ferrosos, sulfato e hidrógeno.



La generación ácida producido por el hierro de la pirita, eventualmente es precipitado como Fe(OH)₃ver la ecuación química siguiente:



En consecuencia, la reacción química final para poder estabilizar al ion férrico formado a partir de la oxidación de la pirita, es la siguiente:

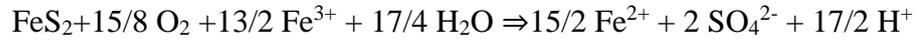
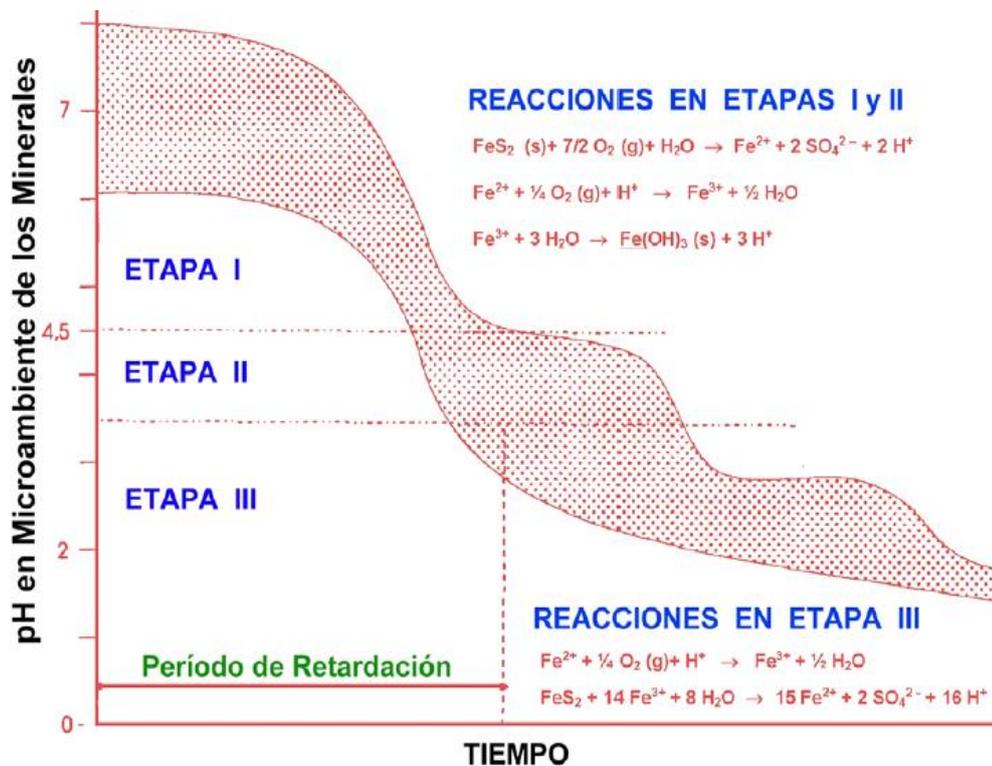


Figura 1

Etapas en la formación de aguas ácidas



Nota: Tomado de la fuente (Aduvire O. , 2006, p. 10)

Cuando los sulfuros entran en contacto con el oxígeno y la humedad en las excavaciones mineras; empieza el mecanismo de oxidación compleja especialmente de la pirita y otros, formándose soluciones (sólidos disueltos) de sulfatos, metales y acidez; en consecuencia, aumenta la acidez.

2.2.3. Factores para la generación de aguas ácidas

Los factores que condicionan a la generación de aguas ácidas de mina, son:

- Eh – pH
- Temperatura del ambiente minero
- Cantidad de mineral
- Tamaño del mineral
- Cantidad de oxígeno presente
- Actividad química del ion férrico
- Concentración de bacterias
- Contenido de nutrientes
- Área de la superficie expuesta de los sulfuros metálicos
- Cinética química requerida para iniciar la generación ácida.

Para su crecimiento, las bacterias requieren una serie de nutrientes imprescindibles y un pH cercano a 3,2; siendo el más importante el dióxido de carbono como fuente principal del carbono, también requieren de nitrógeno, magnesio, azufre y fósforo.

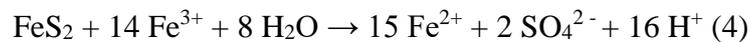
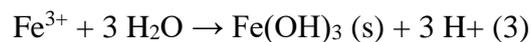
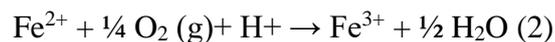
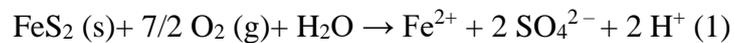
La solubilidad de los metales está determinada principalmente por el pH y Eh del drenaje, capacidad de neutralización del mineral alcalino del medio, por las características de adsorción y la composición química del agua de mina o drenaje; el cambio de estas condiciones fisicoquímicas puede incrementar la precipitación de los metales.

2.2.4. Categoría de drenajes de mina

Con la finalidad de clasificar el tipo de drenaje de aguas de mina, es necesario realizar un estudio detallado de las condiciones físicas del medio, tales como el clima y la caracterización de los efluentes líquidos de mina, realizando los

muestras de agua y sedimentos para ser analizados en el laboratorio con la finalidad analizar los componentes y sus concentraciones metálicas solubilizados en el agua de mina, también se debe determinar los parámetros tales como: pH, contenido de oxígeno, potencial redox, conductividad, temperatura, turbidez y otros que considere.

Cabe mencionar una vez más, que el ácido de agua de mina, resulta como consecuencia de la oxidación de algunos sulfuros metálicos tales como la pirita, pirrotita, marcasita y otros, al contacto con el oxígeno del aire y agua se forman las aguas ácidas.



En el presente caso de proyecto de investigación de tesis la clasificación de las aguas residuales de mina en función al pH, según

White (1968). Ver tabla 1.

Tabla 1

Clasificación de aguas residuales de mina

Clase de agua	pH
Altamente ácidas	1,5 a 4,5
Blandas, ligeramente ácidas	5,0 a 7,0
Duras, neutras y las alcalinas	7,0 a 8,5
Blandas, aguas alcalinas	7,5 a 11,0
Muy salinas	6,0 a 9,0
Blandas, aguas ácidas	3,5 a 5,5

Nota: Tomado de la fuente White (1968)

Tomando en cuenta la concentración del hidrógeno y los contenidos metálicos se agrupan en cuatro tipos de aguas de mina, ver tabla 2:

Tabla 2*Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad*

CLASE	pH	DESCRIPCIÓN
Ácido	< 6	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Acidez generada por oxidación de minerales, particularmente de sulfuros. ➤ Nivel de metales disueltos es mayor que en drenajes casi neutros.
Alcalino	<9 o 10	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Asociado a minas metálicas, carbón y piritas ➤ Alta alcalinidad generada por disolución de minerales básicos, particularmente óxidos, hidróxidos y algunos silicatos. ➤ Niveles de algunos metales como el Al son mayores que en los drenajes casi neutros. ➤ Asociado con minería de diamantes, molienda de bauxita, cenizas de combustión de carbón
Casi neutro	6 – 8	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dependiendo de la abundancia de los minerales, en ➤ determinados períodos pueden ser ácidos o alcalinos. ➤ Concentración de metales disueltos algunas veces puede exceder niveles tóxicos
Otros	Irrelevante	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Puede afectar la concentración de metales. ➤ Asociado a minería no metálica como: potasa, sales, boratos, bentonitas, gravas, arcillas, etc.

Nota: Morin y Hutt 2001 citado por Aduvire, 2006, p. 3

2.2.5. Propósito de la investigación.

Debido a las aguas ácidas los minerales sufren disolución; que contiene alto contenido de metales pesados tales como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo; como consecuencia de esta disolución se produce la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales afectando ríos; lagos y escorrentías de aguas superficiales; por lo tanto, contaminan a los ecosistemas circundantes.

La alta corrosión generada por la AMD originó y origina muchos problemas en los sistemas de bombeo para su tratamiento posterior; entonces, el objetivo principal es el diseño de un tanque sedimentador en el interior de mina, para su tratamiento posterior. En este sentido se debe realizar o proponer el tratamiento

Físico-Químico, utilizando el método de neutralización-precipitación de las aguas ácidas de la Empresa para ello se debe utilizar una metodología simple y económica, asumible para el sector cooperativizado.

2.2.6. Drenaje de ácidos de mina

Para determinar el tipo de drenaje es necesario hacer un estudio detallado de las condiciones físicas del medio, el clima del lugar y una caracterización de los efluentes de mina. Esta identificación se realiza mediante muestreos de agua y sedimentos y la medición in-situ de parámetros como el pH, contenido de oxígeno, potencial redox, conductividad, temperatura, Fe, acidez/alcalinidad, turbidez, entre otros (Aduvire, 2006, citado por Arismendy Vidales, 2020, p. 53).

Así como manifiesta **Ayala (2018)** que la remediación de DAM la humanidad ha desarrollado avances tecnológicos para perfeccionar y permitir descargas de afluentes mineros, dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP), que los aspectos legales nacionales e internacionales decretan desde los aspectos naturales hasta los artificiales, desde los costos económicos a los caros, cualquiera sea la remediación de estas aguas ácidas, lo que se pretende es reducir las alteraciones negativas en el ambiente (Vargas Sacha y otros, 2021, p. 180),

Por lo tanto, los drenajes ácidos se producen en la minería subterránea y a cielo abierto; siendo las principales fuentes de contaminantes de las aguas superficiales y subterráneas que se encuentran en su entorno de mina.

2.2.7. Métodos de remediación ambiental de las aguas ácidas

Consiste en la implementación de sistemas de tratamiento de los efluentes ácidos de mina. A continuación, se nomina algunos sistemas de tratamiento:

- a) **Métodos activos**, se utiliza productos químicos y el uso de mano de obra para el tratamiento; los reactivos más usados son: hidróxido de sodio (NaOH),

calcita (CaCO_3), cal (CaO); lechada de cal Ca(OH)_2 , hidróxido de aluminio (Al(OH)_3); carbonato de sodio (Na_2CO_3) y coagulantes para incrementar el tamaño de las partículas y precipitar rápidamente.

- b) **Método pasivos**, se usan plantas acuáticas para el tratamiento, como la totora con humedales artificiales.
- c) **Método Mixto**, se aplican métodos activos y pasivos como sistema de procesamiento de efluentes ácidos de mina

2.2.8. Límites máximos permisibles

Los Límites Máximos Permisibles aseguran que los efluentes líquidos que emitan las empresas no excedan ciertos niveles de concentración que se consideran dañinos a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente. Por esta razón, en agosto del 2010 se promulgó el D.S N° 010-2010-MINAM el cual aprueba los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgica (Luna, 2016 citado por Hernández Guerrero, 2018, p. 24)

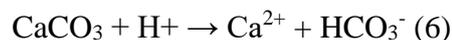
El Ministerio del Ambiente, a través del organismo de evaluación y fiscalización ambiental controla los niveles máximos permisibles de los efluentes líquidos contaminantes que deben estar dentro de los niveles para que no sean peligros directos o indirectos para el ecosistema. El D.S N° 010-2010 MINAM, indica, la necesidad de establecer los LMP de los elementos mineralógicos en los efluentes líquidos de la industria minera metalúrgica para controlar a los efluentes líquidos y contribuir con la protección ambiental. Ver tabla 3.

Tabla 3*Límites máximos permisibles de las aguas*

Parámetros	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH		6-9	6-9
Sólidos totales en suspensión	mg/l	50	25
Acites 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	0,08
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: tomado de la fuente (D.S N° 010-2010 MINAN)**2.2.9. Ensayo experimental discontinua en el laboratorio (neutralización)**

Otra forma de atenuar la acidez de los drenajes desde su mismo origen es por la alteración de los carbonatos y silicatos de las rocas encajantes, por la acción de las propias aguas de mina. La disolución de la calcita es el clásico ejemplo de un proceso de alteración que consume acidez (6). Este es representado por la reacción siguiente, que consume un mol de hidrogeniones por cada mol de calcita puesto en solución y libera sendos moles de calcio y bicarbonato (Stumm y Morgan, 1981).



Los ensayos experimentales de neutralización-precipitación se realiza con agitación mecánica y un volumen de 250 ml de muestra; el procedimiento utilizado fue añadir 0,1g de cal (CaO) y esperar hasta la estabilización del pH. Una vez el pH estuviera estabilizado volver a añadir 0,1g de cal; esta operación se repitió hasta alcanzar un valor de pH próximo a 12; Como agente de neutralización se empleó cal

comercial que presenta una pureza del 62,35% de óxido de calcio (CaO) (Calvo y otros, 2013, p. 299). Ver Figura N° 2

Figura 2

Equipo utilizado para las pruebas de neutralización-precipitación



Nota: Tomado de la fuente (Calvo y otros, 2013)

La investigación cuantitativa nace a partir de las ciencias naturales y posteriormente fue aplicado en los estudios sociales; se caracteriza por ser objetiva y deductiva, producto de los diferentes procesos experimentales que pueden ser medibles, su objeto de estudio permite realizar proyecciones, generalizaciones o relaciones en una población o entre poblaciones a través de inferencias estadísticas establecidas en una muestra

2.2.10. Neutralización del pH del agua

La neutralización del pH de una solución, consiste en agregar una solución alcalina o ácido a la muestra de agua con minerales solubilizados, para obtener

como resultado un potencial de hidrógeno cerca de 7,0. Este método es empleado para preservar las fuentes receptoras de descargas líquidas alcalinas o ácidas, siendo el potencial hidrógeno un elemento sustancial o importante en las reacciones químicas y biológicas.

2.2.11. Tratamiento de drenajes ácidos

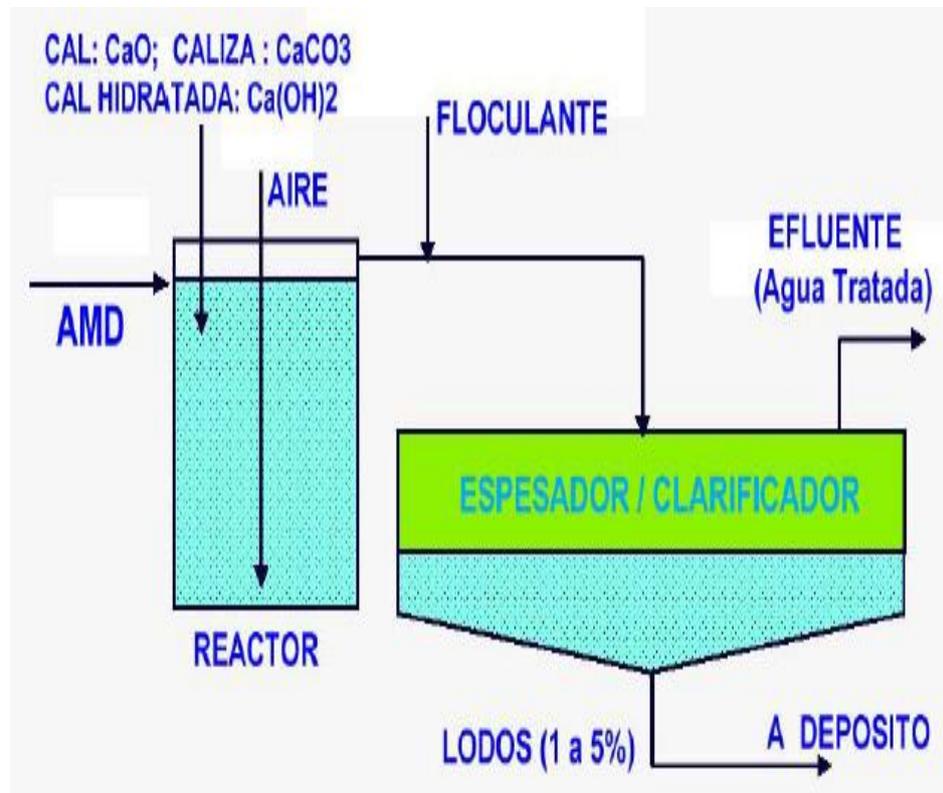
El drenaje ácido de mina se compone de un potente origen de contaminantes de aguas subterráneas y superficiales, y en sus tratamientos se encuentran los métodos pasivos y activos, que abarcan humedales artificiales, muy utilizados en países industrializados con logros interesantes (Vargas Sacha y otros, 2021, pp. 179-180)

Existen diversos tratamientos a los drenajes ácidos de aguas de mina, para evitar la contaminación a los efluentes líquidos superficiales, ver figura 3; los tratamientos son:

- a. Tratamiento con cal
- b. Tratamiento con caliza/cal
- c. Tratamiento con soda cáustica
- d. Tratamiento con carbonato sódico

Figura 3

Planta convencional de tratamiento de aguas ácidas



Nota: Tomado de la fuente Aduvire, (2006) p. 90

2.2.12. Uso de los floculante.

“Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado” (Salas Ticona, 2022, p. 54).

Salas Ticona, (2022) sostiene, los compuestos que pueden estar presentes en el agua pueden ser (p. 54):

- Sólidos en suspensión;
- Partículas coloidales (menos de 1 micra)
- Sustancias disueltas (menos que varios nanómetros).

La coagulación es el tratamiento más poderoso para la eliminación de impurezas presentes en el agua, la dosis del coagulante es el condicionante para el funcionamiento de las unidades de sedimentación y es imposible realizar una buena clarificación si la cantidad de coagulante no es la adecuada, los coagulantes más usados en el tratamiento de aguas suelen ser: sulfato de aluminio, sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico (Huerta Calleja, 2022)

También son usados los floculantes (polímeros) con la finalidad de favorecer la aglomeración de sólidos muy finos para su rápida y eficiente sedimentación, para ser retirados mediante filtración debido a su densidad y tamaño adquirido mediante los floculantes, el coagulante debe ser capaz de neutralizar a los coloides que son generalmente de carga electronegativa que están presente en el agua, para la formación de precipitados y ser decantados.

El catión de las sales metálicas actúa sobre los coloides del agua, con la finalidad de neutralizar las cargas negativas antes de precipitar a los iones solubilizados.

2.3. Definición de términos básicos

- **La calcita (CaCO_3):** La calcita es un mineral derivado del carbonato de calcio y es uno de los minerales más comunes. Viene en muchas formas y colores y es un componente importante de muchas piedras preciosas en todo el mundo. (mineriaenlinea.com)
- **Caliza:** La piedra caliza está hecha de calcita. Todas las rocas de caliza se forman cuando el carbonato de calcio cristaliza en solución o en fósiles marinos y corales. (mineriaenlinea.com)
- **Aguas alcalinas:** al igual que cualquier agua, se conforma por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O). La diferencia con otras aguas está en el

nivel de pH. La alcalinidad es una propiedad contrapuesta a la acidez, por lo que es un agua no ácida. (Alkanatur, s.f.)

- **Aguas ácidas:** Las aguas ácidas de minería se originan mediante la oxidación química y biológica de la pirita. Este fenómeno se produce cuando las rocas conteniendo dichos sulfuros entran en contacto con aire o agua. (Condorchem, s.f.)
- **pH:** Es una medida de la acidez o basicidad de una solución. El pH es la concentración de iones o cationes hidrógeno [H⁺] presentes en determinada sustancia. (Quimica.es, s.f.)
- **Floculante:** son polímeros solubles en agua que se utilizan para inducir procesos de clarificación y sedimentación a través de un proceso físico-químico que aglutina las partículas finas presentes en la pulpa mineral, las cuales se sedimentan en equipamientos denominados espesadores. (Magnafloc, s.f.)
- **Drenaje Acido de Mina AMD:** es la formación de aguas acidas, ricas en sulfatos y metales pesados. Esto es provocado por la lixiviación de sulfuros metálicos y de la pirita presente en carbonos. (Drenaje ácido: Un grave problema ambiental que debemos prevenir, 2022)
- **Reactor (Tanques de agitación):** se utilizan con frecuencia para el proceso industrial de sustancias y mezclas, principalmente en reacciones de flujo de fase líquida homogéneas, en las cuales requiere una agitación. (Reactores con depósito agitado continuo (CSTR))
- **Precipitación:** es la creación de un sólido a partir de una solución. Cuando la reacción ocurre en una solución líquida, el sólido formado se llama precipitado. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Precipitado>, s.f.)

- **Potencial redox:** es una medida efectiva de medir la energía química de oxidación-reducción mediante un electrodo, convirtiéndole en energía eléctrica. (Potencial Redox - Acqua Tecnologia)
- **Conductividad:** se trata de una propiedad física que disponen aquellos objetos capaces de transmitir la electricidad o el calor. (Gardey, 2021)
- **Turbidez:** es una medida de la cantidad de partículas en suspensión en el agua. (<https://www.waterboards.ca.gov/cwt/guidance>, s.f.)

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La optimización de la neutralización de aguas ácidas mejora la precipitación de metales a nivel laboratorio en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. – Pasco - 2023

2.4.2. Hipótesis específica

- a) El pH influye directamente en la precipitación de metales
- b) El tiempo de reacción favorece la precipitación de metales
- c) El floculante influye en la formación de coágulos de metales

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

Optimización de la Neutralización de Aguas Ácidas.

2.5.2. Variable dependiente

Precipitación de Metales a Nivel Laboratorio en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. – Pasco – 2023

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 4
Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable Independiente: Optimización de la Neutralización de Aguas Ácidas.	Debemos aplicar la neutralización del pH de una solución, que consiste en agregar una solución alcalina ensayados en el laboratorio.	Realización de diferentes pruebas.	Espectroscopia de Absorción atómica	Precipitación de metales (ppm)	Razón
Variable dependiente: Precipitación de Metales a Nivel Laboratorio en la Empresa Administradora Cerro S.A.C	La determinación del pH y la precipitación y análisis de las aguas acidas, para evaluación de metales pesados.	Valores obtenidos de los análisis del precipitado	Determinación de los metales precipitados	Fe (ppm) Pb (ppm)	Razón

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El proyecto que se desarrolló es de enfoque mixto tipo aplicativo-experimental teniendo como instrumentos principales las observaciones científicas participativas con enfoque mixto, puesto que se examinó las teorías existentes en el laboratorio metalúrgico, mediante las manipulaciones intencionales de los factores principales para la optimización de la neutralización de las aguas ácidas, con la finalidad de precipitar convenientemente a las sales o minerales solubilizados.(USMP, 2016, p. 6)

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es explicativo

3.3. Métodos de investigación

A pesar de las distinciones entre el método cuantitativo y cualitativo (investigación científica), ambos enfoques se combinan se integran; muchas investigaciones suelen ser una combinación de datos cuantitativos (números) y

cualitativos (palabras o imágenes); éstas combinación de métodos de investigación cuantitativo y cualitativo se denomina metodología mixta (Cárdenas, 2018, p. 3)

El método inductivo: “Es el razonamiento que orienta a partir de la observación de casos particulares a conclusiones generales, parte de enunciados particulares para generalizarse, se realiza inferencias a partir de un conjunto de evidencias” (Cabezas Mejía y otros, 2018, p. 16).

Método hipotético-deductivo el método elegido para este trabajo de investigación es el método hipotético-deductivo ya que en él se plantea una hipótesis que se puede analizar deductiva o inductivamente y posteriormente comprobar experimentalmente, es decir que se busca que la parte teórica no pierda su sentido, por ello la teoría se relaciona posteriormente con la realidad. (López Gutierrez, 2011, p. 32)

Analizadas las citas, el método que se usó en el presente proyecto del trabajo de investigación cuantitativo, es el método científico de enfoque mixto, observacional e inductivo-deductivo, que consiste generalmente en la manipulación intencional de los factores que intervienen en el proceso de neutralización de las aguas ácidas, además se usará la observación participativa durante el desarrollo de las actividades en el laboratorio químico.

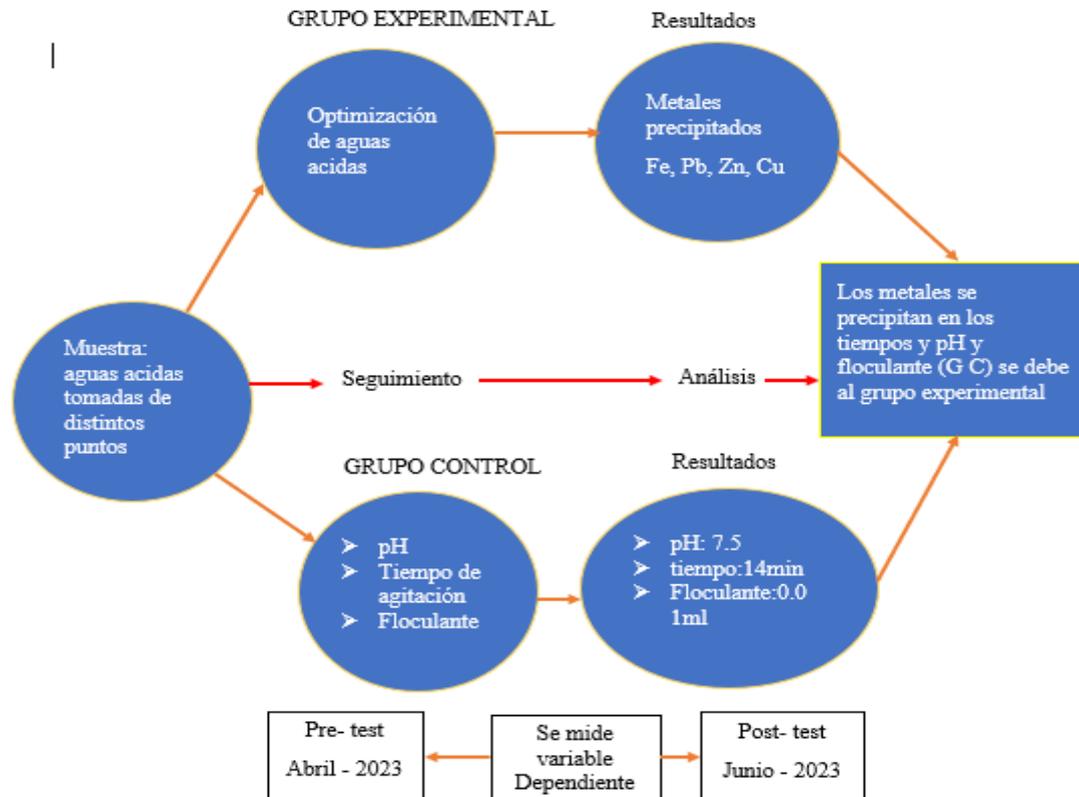
3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación cuantitativa se clasifica en: diseño no experimental y experimental.

Además, el diseño experimental se clasifica en: Pre experimentales; cuasi experimentales y experimentales puros

En el presente trabajo de investigación se usó el diseño de investigación experimental puro para establecer la relación entre la causa y el efecto del problema

que se va investigar; se observó el efecto durante la manipulación intencional de los factores de la variable independiente sobre la variable dependiente.



Nota: Tomado de la fuente (Ramos-Galarza, 2021, p. 7)

3.5. Población y muestra

Población: En el presente caso la población fue considerada infinita, es decir el tamaño de la población es desconocida, que consistió en toda el agua de drenaje ácido de mina (DAM) (Arias, El proyecto de Investigación, 2006, p. 82)

La muestra: Significa una parte de la población, que debe ser representativa o significativa, en tal sentido se tomó muestras en varias oportunidades o tiempos, inmediatamente se ha medido el pH, T°, Conductividad Eléctrica, enseguida las muestra fueron enviadas al laboratorio para su análisis de los contenidos totales de Fe, Zn, Pb, Cu y otros; para cumplir con el D.S N° 010-2010 MINAM.

Muestreo: El procedimiento consistió en el recojo de muestra y se llevó al laboratorio que es corresponsable de la validez de los resultados, los materiales utilizados en campo fueron: envases de muestreo (elementos para rotular-cintas o etiqueta) planillas de registros cuaderno y lápiz, para luego seleccionar una parte de la población que debe ser representativa; con la finalidad de realizar una serie de observaciones válidas experimentalmente; durante el desarrollo de la investigación.

Se utilizó frascos de plásticos o vidrio de boca ancha, limpio ó de primer uso, el volumen requerido es de 250 ml, para analizar, considerando las instrucciones generales de preservación, etiquetado, embalaje y transporte de las muestras.

El tamaño de muestra fue elegido por conveniencia, ya que, las muestras no probabilísticas fueron seleccionadas de acuerdo al tipo de investigación, más que por un criterio estadístico de generalización; vale decir, los elementos de la muestra se seleccionan de acuerdo a la decisión del investigador, sin intentar que las muestras estadísticamente sean representativas de una población determinada.

El muestreo se realizó mediante el método de muestreo no probabilístico por conveniencia (facilidad de acceso), que depende solamente de la experiencia del investigador, es decir la muestra no tiene la probabilidad establecida para ser seleccionada.

Los muestreos se realizaron manualmente con mínimo de equipos y no automático.

Las muestras se tomaron en seis puntos de monitoreo con volúmenes de 250 ml aproximadamente; con los cuales se formó una mezcla homogénea representativa de las aguas ácidas de mina, durante el muestreo se midió la

temperatura y el pH; en seguida se hizo los análisis respectivos de los metales pesados solubilizados de Fe: Pb; Cu y Zn.

La muestra representativa fue usada para la realización de la parte experimental: análisis fisicoquímico; corridas experimentales en el orden establecido por el paquete estadístico y otros.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Los datos para el presente proyecto de tesis consistió en recoger y organizar datos relacionados sobre variables, hechos involucrados en la investigación, y estos fueron obtenidos a través de la aplicación de instrumentos que deben ser correctos, precisos, así como probados; para toda investigación en ciencias naturales es importante tener claro del proceso, lugar y contexto de la recolección de datos, por ser la fase operativa del diseño de investigación para alcanzar los objetivos deseados (Useche y otros, 2019, p. 29)

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos son procedimientos y actividades que permiten comprobar el problema planteado de la variable estudiada en la investigación, por lo tanto, el tipo de investigación determinará la técnica a emplear. (Useche y otros, 2019, p. 30).

En el presente caso de investigación, el tipo de investigación fue el enfoque mixto (cuantitativo-cualitativo), en tal sentido las técnicas que se utilizaron para la recolección de datos cualitativos principalmente fue la revisión documental y la observación participativa durante los trabajos experimentales realizados en el laboratorio de nuestra primera casa superior de estudios.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos.

Las técnicas de recolección de datos son procedimientos y actividades que permiten comprobar el problema planteado de la variable estudiada en la investigación, por lo tanto, el tipo de investigación determinará la técnica a emplear. (Useche y otros, 2019, p. 30).

En el presente trabajo, el tipo de investigación fue de enfoque mixto, en tal sentido las técnicas que se utilizaron para la recolección de datos cuantitativos principalmente fueron la revisión documental y la observación participativa en el laboratorio mediante la manipulación del control de los factores principales del proceso de investigación para precipitar a los minerales solubilizados en las aguas ácidas de mina. Ver como ejemplo la figura 4.

Figura 4

Ensayos experimentales de neutralización en el laboratorio



Nota: Tomado de la fuente Aduvire O. , s/f, p. 6

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

3.7.1. Selección de los instrumentos de investigación

Los instrumentos usados en el desarrollo de la tesis principalmente fueron: potenciómetro; balanza de precisión; agitador magnético; vasos de precipitación; termómetro; etc. que fueron seleccionados en función a los factores experimentales del proceso de investigación.

3.7.2. Validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

En investigaciones experimentales, la confiabilidad de los instrumentos descansa tanto en aspectos propiamente técnicos, como también humanos; pues, no solamente importa el estado y adecuado ajuste de los instrumentos, como la capacitación y entrenamiento del personal que debe manipularlos durante los procesos de toma de muestras o mediciones (Mata Solís, 2020)

En el enfoque cuantitativo, el concepto de validez apunta principalmente al valor de los hallazgos del estudio, las conclusiones a las que éste llega y las posibilidades de su replicabilidad en investigaciones externas, esto último de acuerdo con los planteamientos, casos y contextos específicos sobre los que trabajan (Mata Solís, 2020)

La validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación y estudio, los equipos utilizados para la presente investigación contaban con los certificados de calidad respaldadas por empresas homologadas, por lo que los resultados obtenidos fueron confiables por las certificaciones vigentes de los equipos de la empresa Administradora Cerro S.A.C.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.8.1. Técnicas de procesamiento de datos

“El tratamiento estadístico de los datos permite un análisis adecuado que puede tener diversos alcances, los cuales dependen de los objetivos de la investigación y de las hipótesis formuladas” (Alva Santos, 2021).

El statgraphic, es un programa que permitió trabajar con datos continuos o numéricos, entonces permite realizar cálculos, crear tablas o gráficos y también podemos procesar los datos numéricos con herramientas tan avanzadas como las tablas dinámicas de Excel.

3.8.2. Técnicas de análisis de datos

El análisis de los datos no es una tarea que se improvisa, como si recién se comenzara a pensar en él luego de procesar todos los datos; por el contrario, el análisis surge más del marco teórico trazado que de los datos concretos obtenidos y todo investigador que domine su tema y trabaje con rigurosidad deberá tener una idea precisa de cuáles serán los lineamientos principales del análisis que habrá de efectuar antes de comenzar a recolectar datos; se podrá definir así, con suficiente antelación, qué datos serán capaces de rechazar o afirmar una hipótesis, qué resultados indicarán una u otra conclusión. Esta actividad, llamada por algunos autores análisis anticipado (Sabino, 1992, p. 152).

Tesis de investigación (2011) afirma, una vez concluidas las etapas de colección y procesamiento de datos se inicia con una de las más importantes de la investigación: el análisis de datos; en esta etapa se determina como analizar los datos y que herramientas de análisis estadístico son adecuadas para este propósito, el análisis de los datos depende al menos de los siguientes factores:

- a. La medición de los factores controlados en el proceso
- b. La hipótesis formulada para su demostración
- c. El diseño del proceso de investigación utilizado, el cual indica el tipo de análisis requerido para comprobar la hipótesis

En consecuencia, toda la información numérica de datos primarios obtenidas experimentalmente; se realizaron el procesamiento o análisis obteniendo

tablas y figuras y las interpretaciones de éstas se realizaron usando las teorías estadísticas y las informaciones recopiladas en función al tema de investigación.

3.9. Tratamiento estadístico

Finalizadas las tareas de recolección primarios o experimentales el investigador quedará en posesión de un cierto número de datos, a partir de los cuales será posible sacar las conclusiones generales que apunten a esclarecer el problema formulado en los inicios del trabajo; pero esa masa de datos, por sí sola, no nos dirá en principio nada, no nos permitirá alcanzar ninguna conclusión si, previamente, no ejercemos sobre ella una serie de actividades tendientes a organizarla, a poner orden en todo ese multiforme conjunto (Sabino, 1992, p. 137).

El procesamiento o análisis de los datos primarios obtenidos experimentalmente, se hizo mediante el programa estadísticos stagraphics centurión, por ser un paquete muy versátil.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Toda investigación académica se debe realizar con valores y actitudes positivas en la vida personal y profesional, con el consentimiento informado, libre y específica con fines también específicos establecidos en los proyectos de investigación, asegurando el bienestar de las personas que participan en la investigación, sin causar daño físico ni psicológico, minimizando los posibles efectos adversos, pero, maximizando los beneficios.

Por lo tanto, los investigadores deben asumir con responsabilidad las consecuencias individuales, sociales y académicas, reportando hallazgos de manera abierta, completa y oportuna a todos los interesados e involucrados en el proceso de investigación; cumpliendo con las normas institucionales, nacionales e internacionales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Los sistemas activos generalmente se refieren a la aplicación continua de materiales alcalinos para neutralizar los efluentes ácidos de la mina y precipitar los metales. Para tratar los drenajes ácidos de mina por métodos químicos, comúnmente denominados tratamientos convencionales, es necesario conocer a fondo las reacciones de oxidación que llevan a la formación de sustancias de carácter ácido (Salazar et al., s.f. citado en Arismendy Vidales, 2020, p. 76)

Los ensayos experimentales determinaron la administración del óxido de calcio (Cal) como coagulante, floculante y neutralizante actúa efectivamente en el tratamiento de las aguas ácidas, logrando establecer parámetros físico-químicos como el pH de 3,55 u.e en promedio a 8,09 u.e en promedio, y en cuanto a los parámetros inorgánicos como el Hierro de 6,639 mg/L a 0,068 mg/L, Mn de 22,92mg/L a 0,150 mg/L; estos indicadores tienen mayor incidencia negativa en el ambiente (Ayala, 2018 citado por Vargas Sacha y otros, 2021, p. 178)

Para determinar el consumo de los reactivos para la neutralización a los efluentes líquidos de mina, se realizaron una serie de corridas experimentales en el laboratorio, a fin de determinar experimentalmente la secuencia de operaciones y los tiempos de tratamiento en cada etapa del formato del diseño factorial.

Se tomó muestras de agua en los puntos de descargas de aguas ácidas, en el laboratorio se realizaron varios ensayos para neutralizar a las aguas ácidas, los equipos o instrumentos que fueron utilizados fueron un potenciómetro, vasos de precipitados, agitador magnético, balanza electrónica de precisión y otros.

4.1.1. Toma de muestras de agua de mina y presentación

Las muestras representativas para el análisis fisicoquímico de drenajes ácidos de mina (DAM) se tomaron en diferentes fechas y en 06 puntos principales de monitoreo de efluentes líquidos de la unidad minera, Empresa Administradora Cerro S.A.C., siendo el volumen de cada muestra de 250 ml; el muestreo se hizo antes del ingreso a la planta de neutralización, con los cuales se formó una mezcla homogénea, formando un volumen más representativo de drenaje ácido de mina que se trata diariamente; formando un volumen de 03,5 litros; también, cada muestra se midió la temperatura; pH y la conductividad eléctrica.

4.1.2. Análisis fisicoquímico de la muestra de agua mina.

Habiendo realizado los muestreos en diferentes momentos, las aguas ácidas de minas presentan concentraciones solubilizados de hierro, cobre, zinc, plomo que exceden los límites máximos permisibles (LMP), los cuales afirman que hay gran potencial de generación de aguas ácidas, debido fundamentalmente al hierro.

a. **Análisis físico de la muestra de agua de mina:** Este trabajo se realizó en el laboratorio de metalurgia de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Ver figura 5

Figura 5
Presentación de las 8 muestras



Nota: Autoría propia

Las características físicas de las muestras tomadas se muestran en la tabla 4.

Tabla 5
Características físicas de las muestras y de la mezcla

Muestra	Color	Temperatura: °C	pH	Conductividad eléctrica: US/cm
1	Amarillento	10	0.8	1490
2	Amarillento	11	1.5	1750
3	Amarillento	9	1.4	1630
4	Verde muy claro	8	1.2	1850
5	Amarillento	12	1.2	1530
6	Amarillento	11	2.0	1890
7	Amarillento	10	1.2	1800
8.	Amarillento	6	1.8	1780
Mezcla en Lab.	Amarillento	15.8	1.5	1750

Nota: Elaboración propia

- b. **Análisis químico de las aguas ácidas de la mina:** Resultados de caracterización química fue realizada en el laboratorio de la Empresa. Ver figura 6 y otras en el anexo; los resultados ver tabla 5.

Figura 6

Análisis químico de las muestras de aguas ácidas



Nota: Autoría propia

Tabla 6

Análisis instrumental de aguas ácidas de mina

Muestra	Fecha	pH	Cu ⁺⁺	Pb ⁺⁺	Zn ⁺⁺	Fe ⁺⁺
			Disuelto (ppm)	Disuelto (ppm)	Disuelto (ppm)	Disuelto (ppm)
M-1	28-4-23	0,8	10.16	0,16	17,06	0,10
		1,5	02.14	0,12	25,20	27,19
M-2	20/4/23	1,5	19.323	0,26	19,01	0,10
		1,2	8.297	0,22	54,38	0,14
M-3	13/4/23	1,4	12,10	0,45	12,50	0,23
		2,0	3,55	0,40	26,22	0,22
M-4	6/4/23	1,2	7,62	0,88	15,86	6,84
		1,8	2,90	0,28	0,16	3,18
M-5	3/4/23	1,2	5,53	0,52	16,09	0,62
		1,5	2,13	0,28	0,38	0,64
M-6	12/05/23	2,0	10,42	0,51	19,71	0,18
		1,2	2,93	0,41	39,40	1,68
M-7	18/5/23	1,2	7,66	0,31	3,54	7,66
		2,0	2,76	0,02	0,07	2,76
M-8	27/5/23	1,8	950,00	7,84	2976,00	31900,00

Nota: Empresa Administradora Cerro S.A.C – Laboratorio químico.

4.1.3. Preparación de los reactivos

- Lechada de cal al 10%:** Para esta preparación se pesa 10 g de cal; en seguida en un vaso de precipitación se disuelve con constante agitación

mediante el agitador magnético por espacio de 10 minutos, luego mediante una probeta se afora hasta completar 100 ml o también se puede aforar en el mismo vaso de precipitado. Ver figura 7

- b. **Floculante al 0.01%:** Como en el caso anterior se prepara el floculante, se pesa 0.01 g de floculante, se disuelve en forma manual en la probeta de 100 ml y se completa a 100 ml. Ver Figuras 8 y 9

Figura 7

Preparación de los reactivos



Nota: Autoría propia

Figura 8

Preparación del floculante en la empresa



Nota: Autoría propia

Figura 9

Preparación del floculante en la UNDAC



Nota: Elaboración propia

4.1.4. Presentación de las muestras para los ensayos experimentales en el laboratorio.

Las ocho muestras tomadas fueron mezcladas en una sola botella de 3.5 litros, en seguida separadas en las mismas botellas pequeñas usadas, con la

finalidad de realizar los ensayos experimentales según las tablas del diseño experimental. Ver figura 10

Del total de muestras que se visualiza sirvió para realizar las pruebas preliminares (investigación de ensayo), con la finalidad de determinar el comportamiento de los factores experimentales del proceso, en seguida pasar a las pruebas experimentales mediante diseños experimentales con cada uno de las seis muestras que quedaron.

Figura 10

Muestras de aguas ácidas de mina



Nota: Elaboración propia

4.1.5. Pruebas preliminares de neutralización dinámica

PRIMERA ETAPA: Ensayos preliminares para precipitar a los iones cobre; plomo; hierro y zinc solubilizados.

Se realizó los ensayos experimentales preliminares o de diagnóstico, con la finalidad de precipitar a los metales pesados solubilizados; ensayos que sirvió para determinar los factores principales para la precipitación de los metales ionizados o solubilizados; el mecanismo de procesamiento es la siguiente:

- Volumen de las muestras: 200 ml.
- Temperatura de la muestra: 7 °C.
- pH inicial del efluente ácido inicial: 1,5
- Cal viva
- Agitación constante mediante el agitador magnético
- Agregar coagulante gota a gota hasta la formación de coágulos, con una concentración de 0,01%
- Finalmente filtrar

PROCEDIMIENTO:

- a. Se trabajó con un total de 02 muestras cuyo volumen de cada uno fue de 200 ml.
- b. En plena agitación se agregó cal viva poco a poco hasta conseguir un pH 7 aproximadamente. Se usó cal viva porque no dio resultado con la solución al 10% de cal (lechada de cal).
- c. Se continuó con la agitación por espacio de 10 minutos
- d. El mismo procedimiento se hizo con la otra muestra, pero con mucho cuidado agregando mayor cantidad cal viva, se pasó un poco más de pH 7.
- e. En seguida se agregó en plena agitación gotas de floculante diferentes cantidades a cada muestra, se continuó la agitación por espacio de 10 minutos, finalmente se formó los flóculos de mayor tamaño para filtrar con cierta facilidad.
- f. Luego se dejó en reposo por espacio de 01 hora, finalmente se filtró, mejor sería centrifugar para agilizar la filtración en menor tiempo.

- g. Con los resultados de la primera etapa de precipitación se formuló la tabla 6, con esa tabla se formuló el diseño experimental.

Tabla 7

Factores experimentales de la primera fase de precipitación de los metales pesados

Factores	Límite inferior	Límite superior
pH	7	8
Tiempo de agitación: min	10	14

Nota: Autoría propia

SEGUNDA PARTE:

Con la tabla 6 se formuló el diseño factorial; ver tabla 7, tabla que sirvió para realizar las corridas experimentales y mejorar la precipitación de los metales solubilizados en las aguas ácidas.

Tabla 8

Diseño experimental de la primera etapa

	BLOQUE	pH	Tiempo de agitación	Cu	Fe	Zn	Plomo
		Unidades	Min	ppm	ppm	ppm	ppm
1	1	7,5	12				
2	1	8	14				
3	1	8	10				
4	1	7,5	12				
5	1	7	14				
6	1	7	10				
7							

Nota: Elaboración propia

Primera parte de los ensayos experimentales:

En resumen, a medida que se aumenta cal sólida y con constante agitación, los minerales solubilizados empezaron a precipitarse en un pH de 3,5 a 4,0; en

forma general el color del precipitado que más prevalece es el amarillo miel, en este caso se consumió 28,46 gramos de cal. Ver Figuras 11 y 12

Figura 11

Se muestra la precipitación del hierro y cobre



Nota: Elaboración propia

Figura 12

Hierro precipitado a un pH 7,5



Nota: Elaboración propia

Segunda parte de los ensayos experimentales:

Con constante agitación se continuó agregando cal sólida, nuevamente se re disuelven los minerales precipitados en la primera parte del ensayo, pasando a formar parte del agua; se continúa agregando cal hasta llegar a un pH mayor a 7,

específicamente llegando a un a un pH 7,15 siendo el consumo de cal de 36 gramos; se observa claramente se precipitan todos los minerales solubilizados, formando óxidos e hidróxidos. Por lo tanto, el consumo de cal y el costo de tratamiento es mayor. Ver figura 13.

Figura 13

Precipitación de todos los metales solubilizados



Nota: Elaboración propia

Sedimentación y filtración:

Para la separación sólido-líquido, primero se debe sedimentar el precipitado convenientemente, agregando a voluntad propia el floculante apropiado; la experiencia es importante en este caso, se agregó 2 gotas floculante MT-4285 con una concentración de 0,01 % en los seis ensayos, en seguida se agitó

por espacio de 10 minutos, se nota claramente la separación de los sólidos del agua, se filtra con cierta facilidad.

Realizados los ensayos experimentales en el orden pre fijado en la tabla 7; se llegó obtener los resultados siguientes, ver tabla 8.

Tabla 9

Resultados de las corridas experimentales según tabla 7

	BLOQUE	pH	Tiempo de agitación	Cu	Fe	Zn	Plomo	
		Unidades	Min	ppm	ppm	ppm	ppm	
1	1	7,5	12	5,48	129,48	17,67	50,46	
2	1	8	14	3,2	120,15	15,1	45	
3	1	8	10	3,4	120,2	15,6	45,2	
4	1	7,5	12	5,48	129,48	17,67	50,46	
5	1	7	14	5,6	126	16,8	48,5	
6	1	7	10	5,6	126	16,8	48,5	

Nota: Elaboración propia

Al analizar la tabla 8, los mejores resultados de precipitación resultados son en los ensayos 1 y 4 respectivamente; siendo la mayor precipitación de los metales pesados:

Cobre= 5,48 ppm

Hierro= 129,40 ppm

Zinc= 17,67 ppm

Plomo= 50,46 ppm

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Realizados los procesamientos estadísticamente la tabla 8 de los datos primarios obtenidos experimentalmente para cada uno de los metales precipitados, se muestran las tablas y figuras respectivamente.

a. Precipitación del hierro.

Tabla 10

Análisis de Varianza para Fe - Precipitación de metales solubilizados

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: pH	33,9306	1	33,9306	1,25	0,3805
B: Tiempo de agitación	0,000625	1	0,000625	0,00	0,9966
AB	0,000625	1	0,000625	0,00	0,9966
Error total	54,4854	2	27,2427		
Total (corr.)	88,4173	5			

R-cuadrada = 38,377 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0,0 por ciento

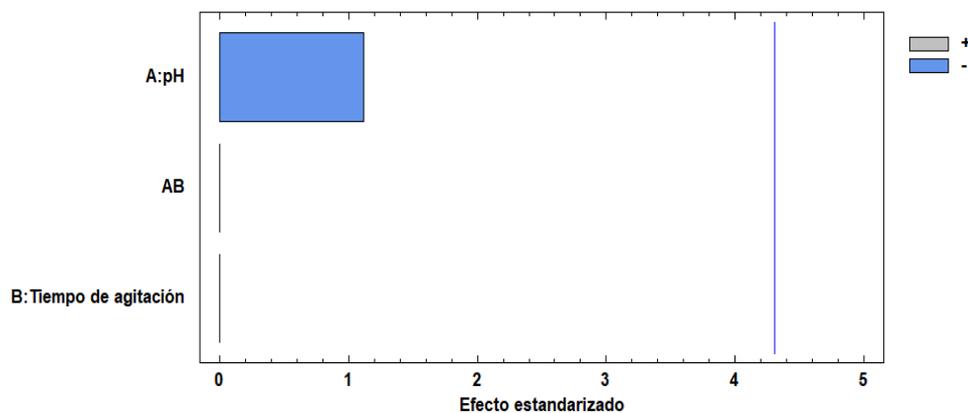
Nota: Autoría propia

Al haber analizado el ANOVA de la precipitación del hierro, los valores de P son mayores que F, en consecuencia, se debe continuar con la investigación para rechazar a la hipótesis, es decir mejorar el resultado de precipitación u optimización.

Análisis de las figuras de la precipitación del hierro solubilizado en las aguas ácidas de mina.

Figura 14

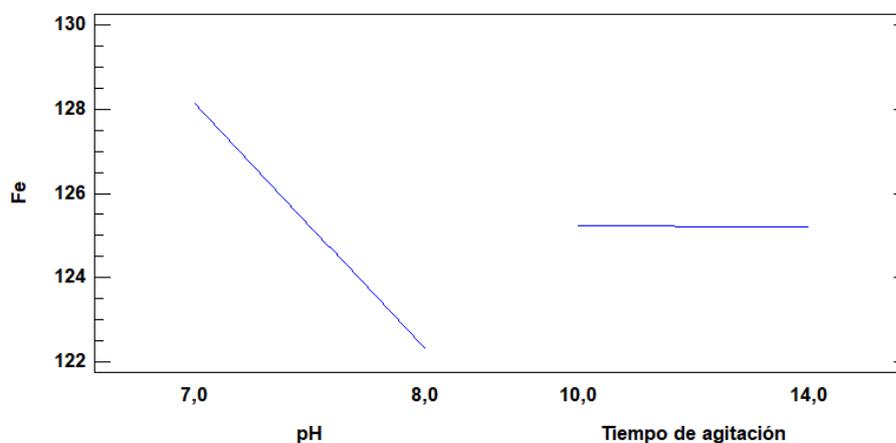
Diagrama de Pareto Estandarizada para hierro



Nota: Elaboración propia

Figura 15

Efectos principales para la precipitación de hierro

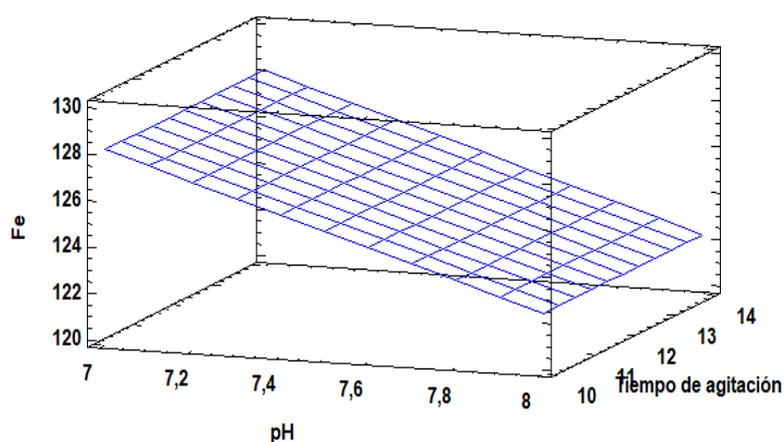


Nota: Autoría propia

Habiendo cumplido con el análisis de la figura 14 y 15 se lee claramente el factor pH es considerado como constante por estar con su valor o nivel máximo y el factor tiempo de agitación es considerado como significativo, entonces necesita ser maximizado para obtener la máxima precipitación del metal pesado, hierro.

Figura 16

Superficie de respuesta estimada de la precipitación del hierro



Nota: Autoría propia

La figura 16, indica claramente que el proceso está bien formulado y se puede pasar a realizar ensayos de optimización, teniendo como factor significativo

al tiempo de agitación, esta afirmación es ratificada en el modelo matemático que tiene con coeficiente negativo.

MODELO MATEMÁTICO

$$\text{Precipitación del Fe} = 167,856 - 5,675 * \text{pH} + 0,0875 * \text{T tiempo de agitación} - 0,0125 * \text{pH} * \text{T tiempo de agitación}$$

Cuando los valores de los factores son ceros, se afirma que la precipitación está en su valor mínimo, por lo tanto, necesita la maximización, entonces se debe continuar con la investigación.

OPTIMIZACIÓN DE LA RESPUESTA

Tabla 11

Meta: maximizar precipitación del hierro

Meta: maximizar Fe

Valor óptimo = 128,131

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
pH	7,0	8,0	7,0
Tiempo de agitación	10,0	14,0	14,0

Nota: Autoría propia

Meta: maximizar Fe

Valor óptimo = 128,131

Para la optimización de los iones hierro, se formuló la tabla 11 a partir de la tabla 10.

Tabla 12*Valores para optimizar la precipitación de hierro*

Factores	Límite inferior	Límite superior
pH	6	8
Tiempo de agitación: min	13	15

*Nota: Autoría propia***b. Precipitación del plomo.**

Habiendo realizado el procesamiento de la tabla 8 de la precipitación de los iones plomo, resultó las tablas y figuras siguientes:

Tabla 13*Análisis de Varianza para Pb - Precipitación de metales solubilizados*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor - P
A: Ph	11,56	1	11,56	1,29	0,3732
B: Tiempo de agitación	0,01	1	0,01	0,00	0,9763
AB	0,01	1	0,01	0,00	0,9763
Error total	17,8608	2	8,9304		
Total (corr.)	29,4408	5			

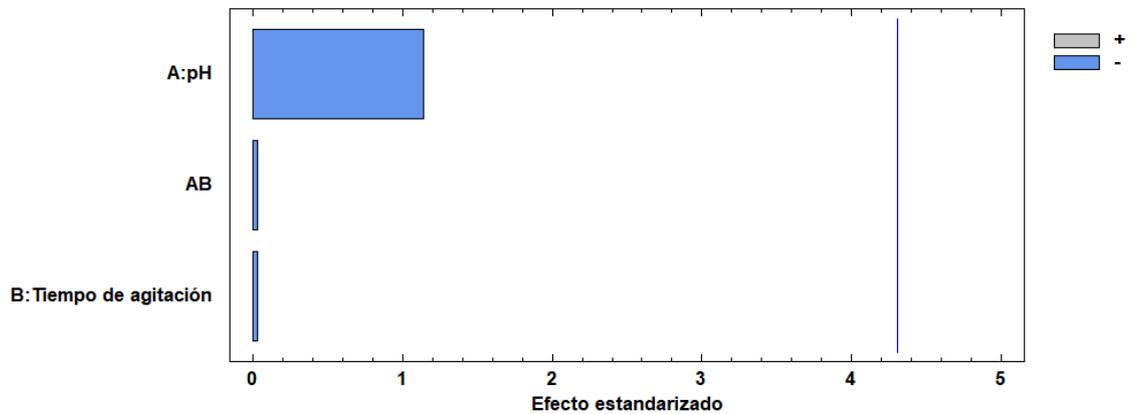
*Nota: Autoría propia***Análisis de la tabla 12:**

Los Valor-P de los factores pH y tiempo de agitación son mayor al nivel de significancia del 5%, así lo mismo son mayores a la Razón-F; por o tanto se debe maximizar a los valores de los factores con la finalidad de mejorar la precipitación del plomo.

También se observa que el error total del proceso es mucho mayor a la unidad, en la tabla se observa un valor 8,9304.

Figura 17

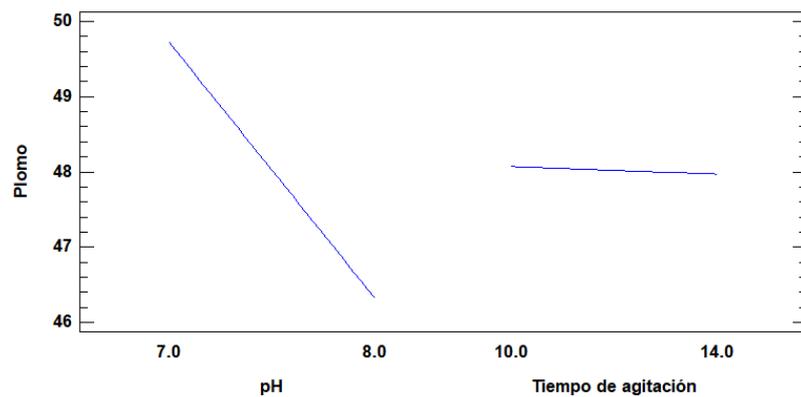
Diagrama de Pareto Estandarizada para plomo



Nota: Autoría propia

Figura 18

Efectos principales para la precipitación del plomo



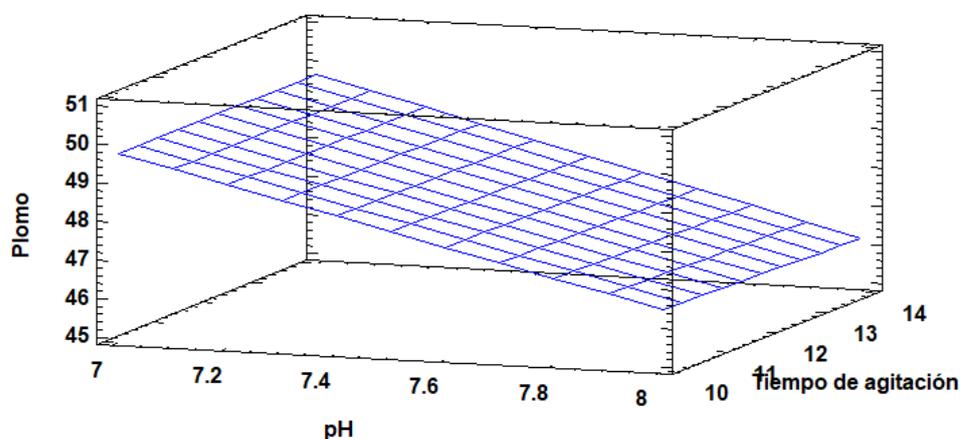
Nota: Autoría propia

Análisis de la figura 18:

La pendiente del factor pH es negativo, significa que, este factor está en su valor máximo, vale afirmar que el factor es considerado como constante durante la precipitación del plomo; siendo el más significativo el factor **tiempo de agitación**, porque la pendiente no es muy acentuada.

Figura 19

Superficie de respuesta estimada para la precipitación del plomo



Nota: Autoría propia

Modelo matemático

Plomo = $69,32 - 2,8 * \text{pH} + 0,35 * \text{Tiempo de agitación} - 0,05 * \text{pH} * \text{Tiempo de agitación}$

El resultado es algo semejante a la precipitación del hierro; es decir, cuando los valores de los factores son ceros, se afirma que la precipitación está en su valor mínimo, por lo tanto, se debe realizar la maximización.

En consecuencia, los análisis o las interpretaciones es semejante a la precipitación del hierro. También ocurre con el procesamiento y análisis de la precipitación del cobre y zinc.

OPTIMIZACIÓN DE LA RESPUESTA

Tabla 14

Valores óptimos para la precipitación optima del plomo

Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Plomo

Valor óptimo = 49,72

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
pH	7,0	8,0	7,0
Tiempo de agitación	10,0	14,0	14,0

Nota: Autoría propia

Para la optimización de los iones plomo, se formuló la tabla 14 a partir de la tabla 13.

Tabla 15

Valores para optimizar la precipitación del plomo

Factores	Límite inferior	Límite superior
pH	6	8
Tiempo de agitación: min	13	15

Nota: Autoría propia

En consecuencia, los factores del proceso en las tablas 10 y 13 tienen valores iguales, por lo tanto, resultarán iguales cuando se realizan los procesamientos para optimización de precipitación de los iones cobre y zinc.

4.2.1. Optimización con el diseño estadístico de experimentos (DEE).

En el diseño de experimentos, la elección del diseño es crítica, por lo que se debe lograr que se ajuste a nuestras necesidades, en el sentido que permita estudiar y analizar de la mejor manera el efecto de los factores que se consideraron importantes; para ello se debe considerar todo lo que pueda influir en dicha elección (Tanco Rainusso, 2008, p. 141)

La formulación se realizó mediante el Statgraphics Centurion XVI, para realizar las corridas experimentales de optimización en el orden que establece el diseño factorial. Ver tabla 15.

Tabla 16

Diseño experimental de optimización

	BLOQUE	pH	Tiempo de agitación	Precipitación de Fe	Precipitación de Pb
		Unidades	Min	ppm	ppm
1	1	7	14		
2	1	8.07809	14		
3	1	8	13		
4	1	7	15.0781		
5	1	7	12.9219		
6	1	7	14		
7	1	6	15		
8	1	8	15		
9	1	6	13		
10	1	5.92191	14		
11					

Nota: Autoría propia

4.2.2. Presentación de los resultados de optimización

Después de haber realizado las corridas experimentales en el orden indicado en la tabla 15 y realizado los análisis químicos, se obtiene los resultados siguientes, ver tabla 16:

Tabla 17

Resultados del proceso de optimización de precipitación

	BLOQUE	pH	Tiempo de agitación	Precipitación de Fe	Precipitación de Pb
		Unidades	Min	ppm	ppm
1	1	7	14	144.1	54.2
2	1	8.07809	14	98.2	30.1
3	1	8	13	98.8	30.6
4	1	7	15.0781	144.2	54.6
5	1	7	12.9219	143.4	53.4
6	1	7	14	144.1	54.2
7	1	6	15	110.4	35.8
8	1	8	15	100.2	33.6
9	1	6	13	108.6	34.2
10	1	5.92191	14	110.3	35.2
11					

Nota: Autoría propia

4.2.3. Análisis e interpretación de los resultados de optimización

Análisis de los datos de precipitación del Fe:

Habiendo realizado el análisis de los datos de la tabla 16, se llegó obtener las siguientes tablas y figuras:

Tabla 18

Análisis de Varianza para Precipitación de Fe - Mejorar la precipitación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor -P
A: pH	172,655	1	172,655	32,47	0,0047
B: Tiempo de agitación	2,60945	1	2,60945	0,49	0,5222
AA	3706,19	1	3706,19	696,98	0,0000
BB	0,04	1	0,04	0,01	0,9351
AB	24,4653	1	24,4653	4,60	0,0985
Error total	21,2699	4	5,31748		
Total (corr)	3927,22	9			

Nota: Autoría propia

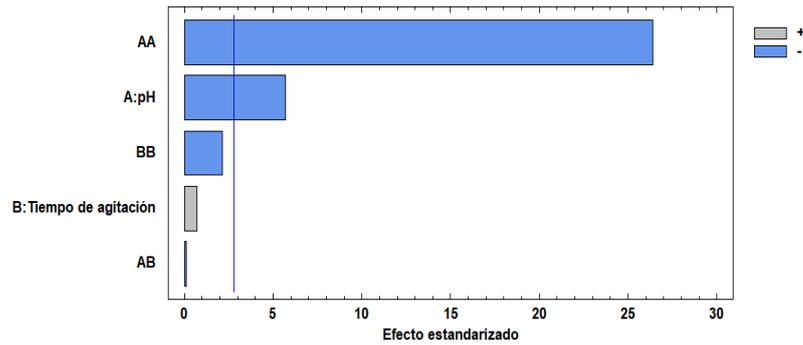
Interpretación del ANOVA de la tabla 17 para la precipitación de los iones de hierro:

- El Valor-P del factor pH es menor al 5% de nivel de significancia, en consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0). También ocurre el mismo caso con la curvatura AA.
- El efecto sobre la respuesta del factor **tiempo de agitación** es mayor al 5% de nivel significancia, porque el Valor-P es mayor al 0,05 de significancia, en este caso no se rechaza a la H_0 ; es decir se acepta a la hipótesis alterna (H_a).
- La varianza del error (cuadrado medio) es 5,31748 es mayor a la unidad, el cual indica que la variabilidad de los datos no es el adecuado, en consecuencia, se debe continuar con realizar más ensayos experimentales para obtener mejores resultados.

Interpretación de la figura 20 para la precipitación de los iones de hierro:

Figura 20

Diagrama de Pareto estandarizada para precipitación de Fe

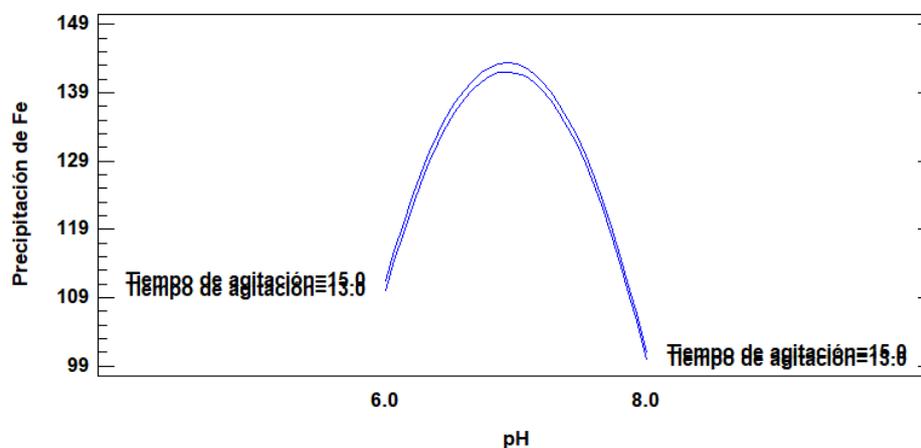


Nota: Autoría propia

- El signo del **factor pH** es **negativo**, significa que está en su valor máximo, es decir dicho factor es constante durante el proceso de precipitación del hierro.
- El signo del **factor tiempo de agitación** es positivo, significa que está en su valor mínimo, entonces es considerado como factor significativo del proceso de precipitación para ser maximizado su valor para obtener mejores resultados.
- La interacción entre los factores (AB) no existe, porque el signo negativo, esta afirmación se confirma con la figura 21.
- Las cuadraturas AA y BB tienen signos negativos, indican éstas están con su valor máximo; significa que las cuadraturas tienen valor máximo, entonces son considerados como constantes durante el proceso de precipitación del hierro.

Figura 21

Interacción de los factores en la precipitación del hierro



Nota: Autoría propia

MODELO MATEMÁTICO DE SEGUNDO ORDEN PARA LA PRECIPITACIÓN DEL HIERRO

Tabla 19

Coficiente. de regresión para Precipitación de Fe - Mejorar la precipitación.

Coficiente	Estimado
Constante	-2241,28
A: pH	514,697
B: Tiempo de agitación	85,599
AA	-37,0373
AB	-0,1
BB	-3,00917

Nota: Elaboración propia

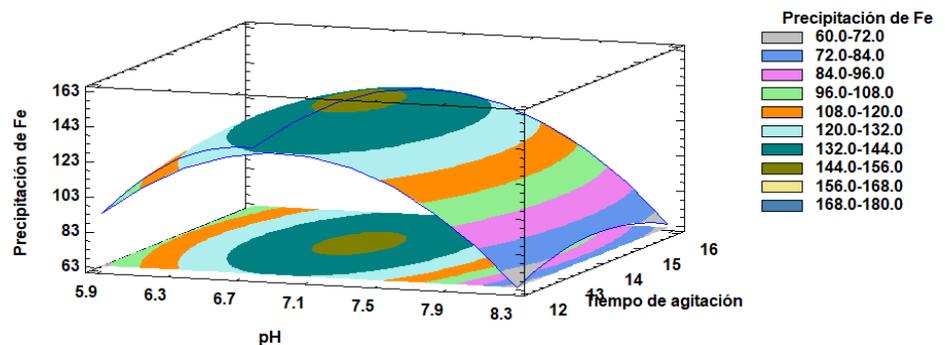
Interpretación del modelo matemático de segundo orden para la precipitación del hierro.

Precipitación de Fe = -2241,28 + 514,697*pH + 85,599*Tiempo de agitación - 37,0373*pH² - 0,1*pH*Tiempo de agitación - 3,00917*Tiempo de agitación²

- Si los factores pH y tiempo de agitación son iguales a CERO podemos establecer que la constante es negativa (-2241,28), entonces la precipitación del hierro está en su valor máximo.
- Los factores pH y tiempo de agitación tienen signos positivos, significa que están en su valor mínimo, entonces deben ser maximizados para aumentar la precipitación del hierro.
- Los factores cuadráticos tienen signos negativos, pero constantes diferentes, en consecuencia, se establece que la figura es una elipse (hiperboloide) o cascara de huevo en el espacio y entonces estaremos ante una posibilidad de un máximo de precipitación del hierro. Ver figura 22.
- Según la figura 20, para maximizar la precipitación del hierro depende únicamente del factor tiempo de agitación.

Figura 22

Superficie de superficie estimada



Nota: Autoría propia

Por lo tanto, aún falta mejorar la precipitación del hierro, porque en la tabla 18 se ve claramente que los signos de los factores son positivos, de modo semejante debe ocurrir en los demás casos de precipitación.

Análisis de la optimización de los datos de la precipitación del plomo

Como consecuencia de los análisis realizados de los datos de la precipitación del plomo, a partir de la tabla 16; se llegó a obtener las tablas y figuras siguientes: Tablas 19 y 20 y las figuras 23; 24 y 25.

Tabla 20

Análisis de Varianza para Precipitación de Pb - Mejorar la precipitación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor - P
A: pH	20,1833	1	20,1833	17,00	0,0146
B: Tiempo de agitación	5,4922	1	5,4922	4,62	0,0979
AA	1037,39	1	1037,39	873,53	0,0000
AB	0,49	1	0,49	0,41	0,5556
BB	4,06066	1	4,06066	3,42	0,1381
Error total	4,75034	4	1,18758		
Total (corr.)	1072,37	9			

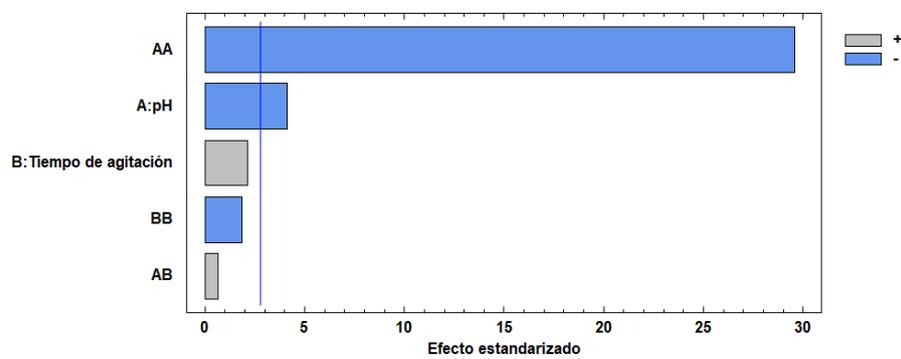
R-cuadrada = 99,557 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,0033 por ciento

Nota: Elaboración propia

Figura 23

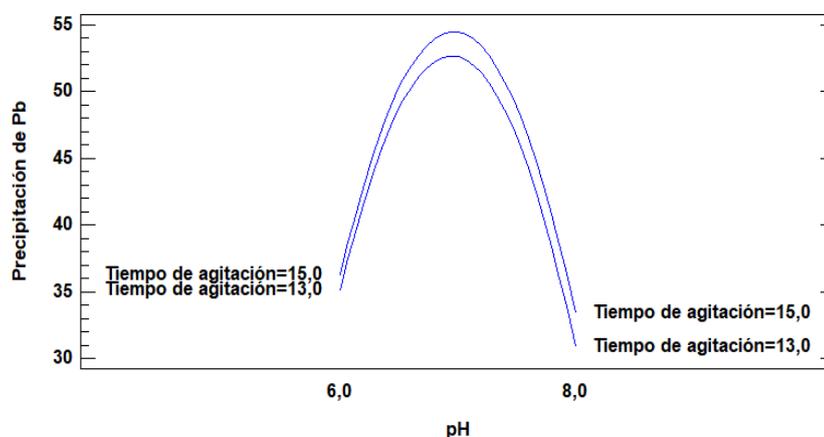
Diagrama de Pareto estandarizada para la precipitación de plomo



Nota: Elaboración propia

Figura 24

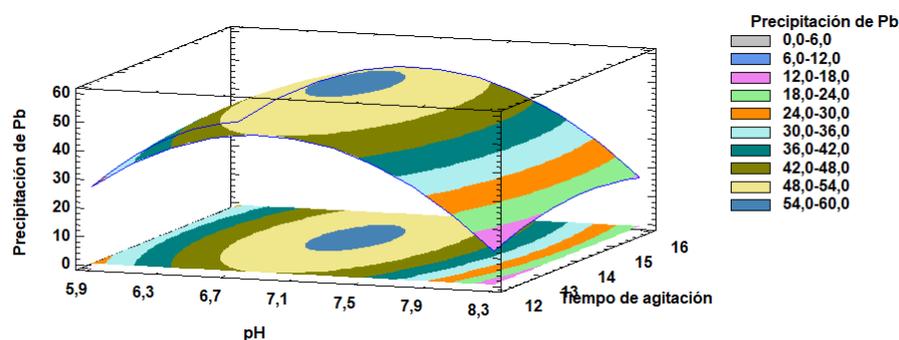
Interacción de los factores para la precipitación de plomo



Nota: Elaboración propia

Figura 25

Superficie de respuesta estimada para la precipitación del plomo



Nota: Elaboración propia

Modelo matemático de segundo orden para precipitación de plomo

Tabla 21

Coefficiente de regresión para la precipitación de plomo

Coefficiente	Estimado
Constante	-1111,93
A: pH	267,645
B: Tiempo de agitación	32,8082
AA	-19,5951
AB	0,35
BB	-1,22594

Nota: Elaboración propia

Precipitación de Pb = $-1111,93 + 267,645 \cdot \text{pH} + 32,8082 \cdot \text{Tiempo de agitación} - 19,5951 \cdot \text{pH}^2 + 0,35 \cdot \text{pH} \cdot \text{Tiempo de agitación} - 1,22594 \cdot \text{Tiempo de agitación}^2$

Interpretación del modelo matemático de segundo orden de la precipitación del plomo:

Los resultados es algo semejante a la precipitación del hierro; es decir, cuando los valores de los factores son ceros, el resultado de la constante es negativo (-1111,93); en este caso se afirma que la precipitación está en su valor máximo, por lo tanto, el resultado del trabajo de tesis es satisfactorio.

Pero, según la tabla 20, la precipitación del plomo no es completa, porque los valores de los factores pH y tiempo de agitación son positivos; por lo tanto, aún se debe mejorar para obtener la precipitación completa del plomo.

En consecuencia, los análisis y las interpretaciones de las precipitaciones del plomo son semejantes a las del hierro. También ocurre con el análisis e interpretaciones de las precipitaciones de cobre y zinc.

4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1. Hipótesis general

- **Hipótesis Nula (Ho) para Fe**

La optimización de la neutralización de aguas acidas no influye en la precipitación de metales pesados a nivel laboratorio. en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Unidad Cerro – Pasco – 2023

- **Hipótesis Alterna (Ha)**

La optimización de la neutralización de aguas acidas influye en la precipitación de metales pesados a nivel laboratorio en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Unidad Cerro – Pasco – 2023

- **Prueba de Hipótesis**

Se demuestra la hipótesis estadística con el ph y tiempo de agitación que son obtenidos en las pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio.

Nivel de significancia

$$\alpha = 0,05$$

- **Estadístico de prueba**

Como estadístico de prueba se utiliza el análisis de varianza, para lo cual se corrió los resultados en el paquete estadístico del stargrafics, que a continuación se observa en la tabla 17.

Tabla :20 Análisis de varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor -P
A: pH	172,655	1	172,655	32,47	0,0047
B: Tiempo de agitación	2,60945	1	2,60945	0,49	0,5222
AA	3706,19	1	3706,19	696,98	0,0000
BB	0,04	1	0,04	0,01	0,9351
AB	24,4653	1	24,4653	4,60	0,0985
Error total	21,2699	4	5,31748		
Total (corr)	3927,22	9			

Nota: Autoría Propia

- **Valor de decisión:**

(Si $F_c > F_t$ se acepta la H_a)

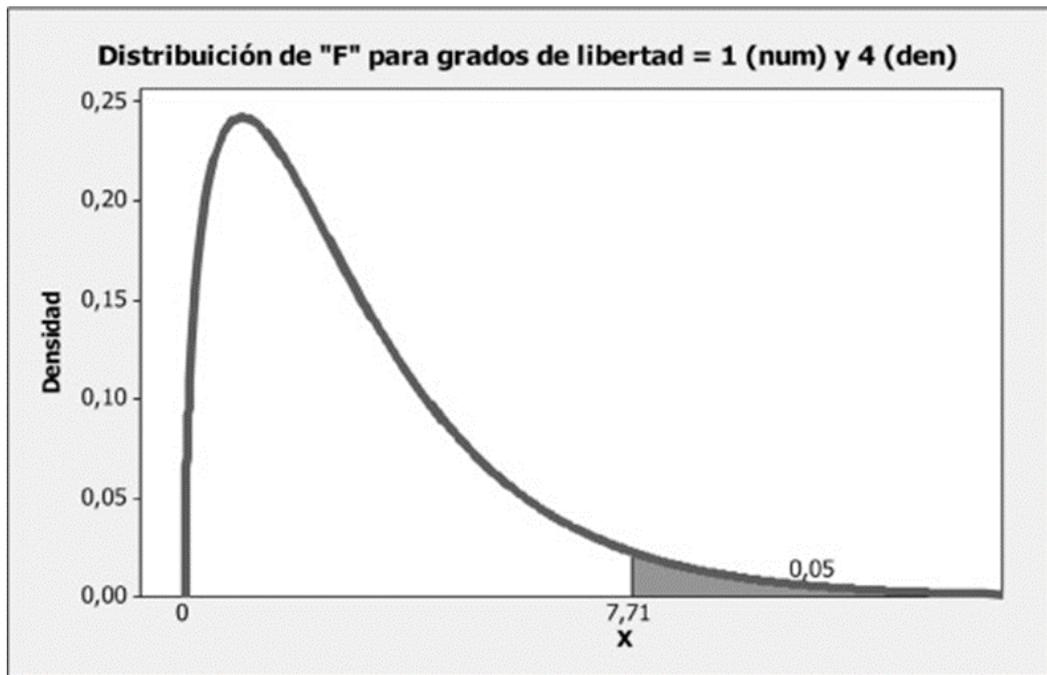
Para la precipitación del ph y tiempo de agitación $F_c = 32,47$ y $F_{\text{tabla}} = 7,709$

$F_c > F_t$ reemplazando valores $32,47 > 7,709$

Para el tiempo de agitación y pH: Calculado= 0.49 y F tabla = 7,709

$F_c > F_t$ reemplazando valores $0,49 < 7,709$

Figura 26
Distribución de Fisher para el hierro



Nota: Autoría propio

Como 32,47 es mayor y 0,49 que el punto crítico 7,709 se acepta la hipótesis alterna debido a que se encuentran en zona de la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

- **Decisión**

Se acepta la Hipótesis Alterna

- **Hipótesis Nula (H₀) para Pb**

La optimización de la neutralización de aguas acidas no influye en la precipitación de metales pesados a nivel laboratorio. en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Unidad Cerro – Pasco – 2023.

- **Hipótesis Alterna (H_a)**

La optimización de la neutralización de aguas acidas influye en la precipitación de metales pesados a nivel laboratorio en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Unidad Cerro – Pasco – 2023

- **Prueba de Hipótesis**

Se demuestra la hipótesis estadística con el ph y tiempo de agitación que son obtenidos en las pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio.

- **Nivel de significancia**

$$\alpha = 0,05$$

- **Estadístico de prueba**

Como estadístico de prueba se utiliza el análisis de varianza, para lo cual se corrió los resultados en el paquete estadístico del stargraphics, que a continuación se observa en la tabla 19.

Tabla 21

Análisis de varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor - P
A: pH	20,1833	1	20,1833	17,00	0,0146
B: Tiempo de agitación	5,4922	1	5,4922	4,62	0,0979
AA	1037,39	1	1037,39	873,53	0,0000
BB	0,49	1	0,49	0,41	0,5556
AB	4,06066	1	4,06066	3,42	0,1381
Error total	4,75034	4	1,18758		
Total (corr)	1072,37	9			

Nota: Autoría Propia

- **Valor de decisión:**

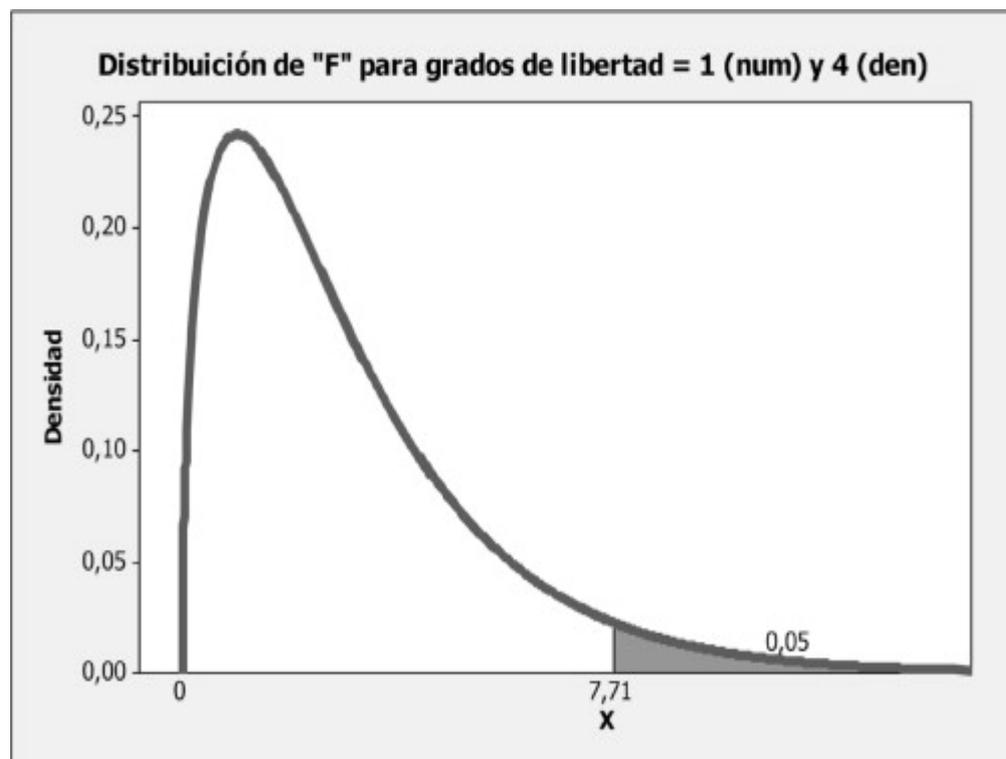
(Si $f_c > f_t$ se acepta la H_a)

Para la precipitación del ph y tiempo de agitación: $F_c = 17,00$ y $F_{\text{tabla}} = 7,709$

$f_c > f_t$ reemplazando valores $17,00 > 7,709$

Para el tiempo de agitación y pH: Calculado = 4,62 y F tabla = 7,709

Figura 27
Distribución Fisher para el plomo



$t_c > t_t$ reemplazando valores $4,62 < 7,709$

Nota: Autoría Propia

Como 17,00 es mayor y 4.62 que el punto crítico 7,709 se acepta la hipótesis alterna debido a que se encuentran en zona de la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

- **Decisión**

Se acepta la Hipótesis Alterna.

4.3.2. Hipótesis específica

Primera hipótesis específica.

La primera hipótesis indica: El pH influye directamente en la precipitación de los metales a nivel laboratorio. en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Unidad Cerro – Pasco – 2023.

✓ Formular la hipótesis de investigación

Ho: El pH no influye directamente en la precipitación de los metales a nivel laboratorio. en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Unidad Cerro – Pasco – 2023. (**hipótesis nula**).

Ha: El pH influye significativamente en la precipitación de los metales a nivel laboratorio. en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Unidad Cerro – Pasco – 2023. (**hipótesis alterna**).

- ✓ Fijar el nivel de significancia (α): $\alpha = 0,05$
- ✓ Estadístico de prueba: stargrafics y significancia p- valor $<0,05$
- ✓ Decisión:

Como estadístico de prueba se utiliza el análisis de varianza, para lo cual se corrió los resultados en el paquete estadístico del stargrafics, ver tabla 17 en el que indica el factor del pH es de 0,0047.

- ✓ Conclusión

El Valor-P del factor pH es menor al 5% de nivel de significancia, en consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (Ho). y afirma que El pH influye directamente en la precipitación de los metales a nivel laboratorio. en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Unidad Cerro – Pasco – 2023, toda vez que el estadístico stargrafics es 0,0047.

Segunda hipótesis específica

La segunda hipótesis indica: El tiempo de reacción favorece la precipitación de metales a nivel laboratorio. en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Unidad Cerro – Pasco – 2023.

- ✓ **Formular la hipótesis de investigación**

Ho: El tiempo de reacción no favorece en la precipitación de metales a nivel laboratorio. en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Unidad Cerro – Pasco – 2023. **(hipótesis nula).**

Ha: El tiempo de reacción favorece en la precipitación de metales a nivel laboratorio. en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Unidad Cerro – Pasco – 2023. **(hipótesis alterna).**

- ✓ Fijar el nivel de significancia (α): $\alpha = 0.05$
- ✓ Estadístico de prueba: stargrafics y significancia p- valor $<0,05$
- ✓ Decisión

Como estadístico de prueba se utiliza el análisis de varianza, para lo cual se corrió los resultados en el paquete estadístico del stargrafics, ver tabla 17 en el que indica el factor tiempo es 0,5222.

- ✓ Conclusión:

El efecto sobre la respuesta del factor tiempo de agitación es mayor al 5% de nivel significancia, porque el Valor-P es mayor al 0,05 de significancia, en este caso no se rechaza a la Ho; es decir se no se acepta a la hipótesis alterna (Ha). nivel laboratorio. en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Unidad Cerro – Pasco – 2023, toda vez que el estadístico stargrafics es 0,5222.

4.3.3. Prueba de hipótesis de trabajo.

La prueba de hipótesis formulada, se demuestra mediante los resultados del trabajo de investigación; teniendo como objetivo principal la precipitación de minerales solubilizados. Ver figuras al inicio y final del trabajo de investigación experimental.

Muestras de agua ácida de la mina sin tratamiento



Inicio de la precipitación de minerales solubilizados a un pH 3,5 a 4.



Precipitación final: Medición del pH y filtrado



Primera etapa de precipitación del
Cobre, zinc y plomo

Segunda etapa de precipitación del
todos los metales: Cu; Zn; Pb y Fe



Estas últimas figuras demuestran claramente la prueba de hipótesis de trabajo experimental, por lo tanto, queda demostrada la hipótesis del trabajo de investigación, obteniendo los mejores resultados que se muestra en la tabla 16. Además, el agua desacidificada tiene un pH por encima de 7, tal como se demuestra en la figura 13.

Existe suficiente evidencia para afirmar que el ph es aún menor para que sea una precipitación correcta del Fe y el tiempo de agitación influyen en la precipitación del Pb con 95% de significancia

4.4. Discusión de resultados

Las pruebas experimentales demuestran que el tiempo de agitación debe ser maximizado para obtener la mayor precipitación de metales siendo el punto óptimo 14 min al respecto Chaparro Corso & Ruiz Ardilla (2018) afirman que a mayor tiempo de residencia del agua en el sistema permite una mayor neutralización.

La interacción de los factores pH y tiempo de agitación demuestran que se logra una alta precipitación de metales cuando se trabajó con pH 7,15 en un tiempo

de 14 min esto se debe a que la cal tiene la propiedad de precipitar los metales pesados. Al respecto Viscarra Arana (2017) afirma que las rocas calcáreas tienen propiedades neutralizantes y la de reducir la presencia de metales pesados.

Según, Jimenez Huallpa C. C. (2017) afirma que realizó el proceso de neutralización de las aguas ácidas con hidróxido de sodio a un pH de 8,2 fue eliminada: 92,3% de cobre, 93,3% de zinc, 96,6% de hierro, 99,9% de aluminio y 15,9% de manganeso; en el presente caso de investigación se hizo la precipitación de los metales pesados a un pH 7,15 obteniendo una buena precipitación de Pb con 54,60 ppm y precipitación Fe 144,20 ppm.; lo fundamental es la gran diferencia en el uso de reactivo precipitante y en el pH; mejorando fundamentalmente de un pH 8,2 a pH 7,15; disminuyendo largamente el pH del agua de los LMP de pH del Decreto Supremo 010-2010 MINAM; D. S. N° 015-2015-MINAM; O.M.S y Ministerio de Salud, siendo lo permitido el pH del de 6 o 6,5 hasta 9 o 9,

CONCLUSIONES

1. Se optimizo; hasta obtener precipitados de 54,60 ppm de Pb y 144.20 ppm de Fe; también; el agua resultante cumple con los LMP establecidos en el D.S. N° 015-2015-MINAM Estándares de Calidad de Agua.
2. El pH juega un papel importante en la precipitación de metales pesados, ya que a un pH optimo (7,15) existe mayor precipitación de metales pesados.
3. En la parte de ensayos experimentales de neutralización; a medida que se agrega cal, se obtiene precipitados de color negro a un pH mayor o igual a 7, siendo el consumo total de cal de 36,00 gramos con un tiempo de agitación de 14 minutos; los resultados se tienen en la tabla 8; obteniendo como precipitado de Fe 129,48 ppm y plomo 50,46 ppm.
4. El floculante utilizado MT-4285 se utilizó 0.01gr en vaso de 100 ml agitando hasta diluirlo al 100%, para una mayor eficiencia, ayudando a que los sólidos sedimente más rápido y así obteniendo el agua resultante que cumple con el D.S. N° 015-2015-MINAM Estándares de Calidad de Agua.

RECOMENDACIONES

- Continuar con el proceso de investigación en temas de tratamiento o procesamiento de agua ácida de mina, con la finalidad de disminuir la acidez utilizando hidróxido de sodio, cal hidratada para obtener resultados aceptables.
- Mejorar el tratamiento de las aguas acidas usando lechada de cal, con una concentración mayor al 10% cuando se trata de aguas ácidas de minas con una acidez mayor al 1,5; para optimizar la precipitación de los minerales solubilizados.
- Continuar con las pruebas de dosificación de cal y tiempo de agitación para mejorar o conseguir mayor precipitación de metales
- Hacer pruebas o corridas con diferentes floculantes de distintas marcas para mejorar el tiempo de sedimentación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbadia, J. (24 de octubre de 2022). ¿Cuáles son las limitaciones en la investigación y cómo escribirlas? Mind the Graph: <https://mindthegraph.com/blog/es/limitaciones-de-la-investigacion/>
- Aduvire, O. (2006). Drenaje ácido de mina generación y tratamiento. Instituto Geológico y Minero de España.
- Alva Santos, A. (06 de Septiembre de 2021). Análisis de los datos e interpretación de los resultados. Análisis de los datos e interpretación de los resultados: https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1177276899217_1477413697_5143/analisdatosinterpretac-1.pdf
- ANDAMAYO VITOR, A. C. (2019). Tratamiento de aguas ácidas para la obtención de agua tipo. Tratamiento de aguas ácidas para la obtención de agua tipo. pasco, pasco, pasco.
- Aponte Espinoza, W. (s.f.). Neutralización y Coagulación del efluente ácido de mina para la precipitación de metales totales en la Compañía Minera Aurífera [Maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional, Huancayo.
- Arismendy Vidales, S. K. (2020). Problemática ambiental generada por el drenaje ácido de mina en la explotación de yacimientos mineros en Colombia [Título Profesional, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD). Repositorio Institucional, Colombia.
- (s.f.).
- Abbadia, J. (24 de octubre de 2022). ¿Cuáles son las limitaciones en la investigación y cómo escribirlas? Mind the Graph: <https://mindthegraph.com/blog/es/limitaciones-de-la-investigacion/>

- Aduvire, O. (2006). Drenaje ácido de mina generación y tratamiento. Instituto Geológico y Minero de España.
- Aduvire, O. (s/f). Dimensionamiento de sistemas de tratamiento de aguas ácidas de mina. SRK Consulting (Peru) S.A.
- Alkanatur. (s.f.). Alkanatur. <https://alkanatur.com/es/agua-alcalina/>
- Alva Santos, A. (06 de Septiembre de 2021). Análisis de los datos e interpretación de los resultados. Análisis de los datos e interpretación de los resultados: https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1177276899217_1477413697_5143/analisdatosinterpretac-1.pdf
- Aponte Espinoza, W. (2020). Neutralización y Coagulación del efluente ácido de mina para la precipitación de metales totales en la Compañía Minera Aurífera [Maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional, Huancayo.
- Arias. (2006). El proyecto de Investigación (6 ed.). Episteme.
- Arias. (s.f.). El proyecto de Investigación (6 ed.). Episteme.
- Arismendy Vidales, S. K. (2020). Problemática ambiental generada por el drenaje ácido de mina en la explotación de yacimientos mineros en Colombia [Título Profesional, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional, Colombia.
- Asesoría MSS. (23 de Julio de 2017). Deficiencias en la tutoría de la tesis. Proyectos y Tesis de Grado: <https://asesoriamss.com/servicios/empresa-2/item/186-deficiencias-en-la-tutoria-de-la-tesis>
- Bardales Shuña, A., & Vilcazan Mamani, E. (2019). Neutralización de aguas ácidas con elevada concentración de metales [Bachiller, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional.

Board, C. S. (s.f.). <https://www.waterboards.ca.gov/cwt/guidance>.

Cabezas Mejía, E. D., Andrade Naranjo, D., & Torres Santa María, J. (2018).

Introducción a la Metodología de la Investigación Científica. Ecuador:

Universidad de las Fuerzas Armadas.

Calvo, D., Casado, J., Zamora, G., & Alfonso, P. (2013). Estudio para el Tratamiento

de las Aguas Ácidas por Neutralización-Precipitación en Interior de la Mina

Santa Fé, Bolivia. *La Minería y la Geología Ambiental*, 297-310.

Campos Sánchez, F., López Aranda, M. Á., Martínez Castellanos, M., Ossorio Martín,

J. R., & Pérez García, J. F. (2023). Guía para la implementación de la Norma

ISO 45001. Imagen Artes Gráficas, S.A.

Canales Revatta, H. O. (2007). Mitigación de aguas ácidas provenientes de las minas.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Canese de Estigarribia, M. I. (2015). Ética en la Investigación Científica, en el Área de

las Ciencias Sociales, en Universidades del Paraguay. *Gestión Universitaria en*

América Latina, 8(4), 153-163. [chrome-extension://gphandlahdpffmccakmbngmbjnjiihp/https://www.redalyc.org/pdf/3](chrome-extension://gphandlahdpffmccakmbngmbjnjiihp/https://www.redalyc.org/pdf/3193/319343257010.pdf)

[193/319343257010.pdf](https://www.redalyc.org/pdf/3193/319343257010.pdf)

193/319343257010.pdf

Cárdenas, J. (2018). Investigación cuantitativa. Bettina Schorr / Paul Talcott / Frauke

Berg.

Chaparro Corso, J. Y., & Ruiz Ardilla, N. (2018). Evaluación a escala de laboratorio

del gradiente de acidez de drenaje ácido de mina, mediante el uso de columnas

de caliza como sistema pasivo de neutralización. Universidad Pedagógica y

Tecnológica de Colombia.

Condorchem. (s.f.). Condorchem. <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-acidas-en-mineria/#>

de la Cruz Nateros, M. R. (s.f.). Implementación del sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional basado en la NTP ISO 45001:2018 para la UM Curihuarmi [Tesis Título Profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional, Huancayo-Junín.

Delgado Rodríguez, J., Ayala, D., & Simón Páez, H. (2018). Sistema de tratamiento para mejorar la calidad de aguas de drenaje de pasivos ambientales mineros en la Cuenca del río Puyango [. GEOGACETA.

Gallardo Díaz, L., & Acuña Bustamante, J. (2020). Proceso de neutralización directo y por etapas para remover metales del drenaje ácido de Mina-Almarca, 2020 [Título Profesional, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]. Repositorio Institucional, Cajamarca.

Gardey, P. p. (2021). DEFINICIÓN DE CONDUCTIVIDAD. <https://definicion.de/conductividad/>

Gestión Calidad. (10 de Octubre de 2016). Gestión Calidad. Sistemas de Gestión de la Seguridad y Salud Ocupacional: <https://gestion-calidad.com/iso-45001-2018>

Glace, M. W. (2023). Reactores con depósito agitado continuo (CSTR). METTLER TOLEDO, 01.

Guarín S., N. (s/f). Estadística Aplicada. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Guerrero Bejarano, M. A. (2016). La Investigación Cualitativa. INNOVA Research Journal, 1(2), 1-9.

Hernández Guerrero, U. B. (2018). Determinación de la concentración de metales pesados en la planta de tratamiento de aguas ácidas san pedro en minera la

zanja, provincia de Santa Cruz, Cajamarca [Título Profesional, Universidad Alas Peruanas]. Repositorio Institucional, Cajamarca.

Huerta Calleja, K. (Marzo de 22 de 2022). El coagulante en el tratamiento de aguas. Contyquim: <https://contyquim.com/blog/el-coagulante-en-el-tratamiento-de-aguas>

ISOTools. (s.f.).

Jimenez Huallpa, C. C. (2017). Eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con lechada de cal de la Unidad Minera [Título profesional, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional, Lima.

Jimenez Huallpa, C. C. (2017). Eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con lechada de cal de la Unidad Minera Arasi – Puno [Título profesional, Universidad Peruana La Unión]. Repositorio Institucional. Puno.

López Gutierrez, H. (2011). Tratamiento anaeróbico de aguas acidas de mina con travertino y compost a escala de laboratorio [Grado de Maestro, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional, Huancayo.

Magnafloc. (s.f.). mineria.basf.

<https://mineria.basf.com/magnafloc#:~:text=Son%20productos%20dise%C3%B1ados%20para%20optimizar,filtrado%20o%20tanques%20de%20relave.>

Mamani Ticona, L. C. (2022). Implementación de la norma ISO 45001:2018 para el mejoramiento del sistema de gestión de seguridad de la Empresa CEMSA Perú S.A.C. Arequipa, 2021 [Título de Ingeniería Ambiental, Universidad Continental]. Repositorio Institucional.

- Mata Solís, L. D. (7 de Julio de 2020). Confiabilidad y validez en la investigación cuantitativa. Investigalia: <https://investigaliacr.com/investigacion/confiabilidad-de-instrumentos-y-validez-de-resultados-en-la-investigacion-cuantitativa/>
- Mendoza Fernández, R. A. (2016). Sistema informático de técnicas de procesamiento de datos cuantitativos.
- Mendoza Sthiven, C. (s.f.). Implementación del Sistema de Gestión Ambiental ISO 14001 en Compañía Minera Condestable S.A. [Grado Maestro, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional, Lima-Perú.
- mineriaenlinea.com. (s.f.). [mineriaenlinea.com](https://mineriaenlinea.com/rocas_y_minerales/calcita/).
- Moreno Galindo, E. (27 de Marzo de 2021). Metodología de investigación, pautas para hacer Tesis. Delimitación del problema de investigación: <https://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/2013/08/delimitacion-del-problema-de.html>
- Mousalli Kayat, G. (2016). Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa. ResearchGate, 39.
- Orozco, H. (2022). La ética en la investigación científica: consideraciones desde el área educativa. Revista de Historia, Geografía, Arte y Cultura(19), 11-21. <http://perspectivas.unermb.web.ve/index.php/Perspectivas/article/view/355/512>
- Parra Rodriguez, B. I. (2016). Gestión administrativa e implementación de las tics en el Instituto María Rosario Araoz Pinto. [Tesis posgrado Maestra en Gestión Pública]. Escuela Posgrado Universidad César Vallejo, Trujillo-Perú.
- Quimica.es. (s.f.). Quimica.es. <https://www.quimica.es/enciclopedia/PH.html>
- Sabino, C. (1992). El procesos de investiagación. Ed. Lumen.

- Sáenz López, K., & Gerardo Tamez González, G. (2014). Métodos y técnicas cualitativas y cuantitativas aplicables a la investigación en ciencias sociales. Tirant Huanidades México.
- Salas Ticona, P. R. (2022). Optimización del tratamiento de efluentes en la Minera Santa Luisa - Huanzalá [Título profesional, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional, Arequipa.
- Sánchez Martínez, D. V. (2022). Técnicas e instrumentos de recolección de datos en investigación. TEPEXI, 9(17), 38-39.
- SGS. (2022). Drenaje ácido: Un grave problema ambiental que debemos prevenir. SGS, 01.
- Tanco Rainusso, P. M. (2008). Metodología para la aplicación del Diseño de experimentos (DoE) en la industria [Tesis Doctoral, Universidad de Navarra]. Repositorio Institucional, España.
- Tumialán, P. E. (s.f.). Recuperación Selectiva de Metales en Aguas Ácidas, Cerro de Pasco. Rumbo Minero, 250-251.
- Useche, M. C., Artigas, W., Queipo, B., & Perozo, É. (2019). Técnicas e instrumentos de recolección de datos cuali-cuantitativos. Editorial Gente Nueva.
- Valls, J. L. (s.f.). Potencial Redox - Acqua Tecnologia. 1.
- Vargas Sacha, H., Soto Carbajal, D., & Hinojosa Yzarra, L. A. (2021). Tratamiento de Aguas Ácidas de Mina. Centro de Investigación y Desarrollo Intelectual, 1(2), 175-185.
- Vizcarra Arana, J. G. (2017). Neutralización del Agua Ácida de Mina Mediante Infiltración en Rocas Sedimentarias Tipo Lutitas Calcáreas y Calizas en la Mina Madrugada de Minera Huinac SAC [Grado de Maestro, Universidad Santiago Antunez de Mayolo]. Repositorio Institucional, Ancash.

wikipedia. (s.f.). <https://es.wikipedia.org/wiki/Precipitado>.

Zamora Echenique, G. (2014). Estudio técnico, económico e ambiental del tratamiento de aguas ácidas de la Mina San José. Universidad Técnica de Oruro.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

https://mineriaenlinea.com/rocas_y_minerales/calcita/

https://mineriaenlinea.com/rocas_y_minerales/calcita/

<https://alkanatur.com/es/agua-alcalina/>

<https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-acidas-en-mineria/#>

<https://www.quimica.es/enciclopedia/PH.html>

<https://mineria.basf.com/magnafloc#:~:text=Son%20productos%20dise%C3%B1ados%20para%20optimizar,filtrado%20o%20tanques%20de%20relave.>

<https://www.waterboards.ca.gov/cwt/guidance>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Precipitado>

<https://www.waterboards.ca.gov/cwt/guidance>

ANEXOS

ANEXOS 01

Anexo 01: instrumentos de recolección de datos

Instrumentos	Usos
Balanza de precisión	Permite el pesado con mayor precisión
Potenciómetro	sensor utilizado para medir el pH de una disolución
Agitador magnético	Es una pequeña barra magnética (llamada barra de agitación) que normalmente está cubierta por una capa de plástico
Vasos de precipitación	empleado para procesos de precipitación, para calentar o agitar líquidos, preparar disoluciones
Papel filtro	Sirve para filtrar impurezas insolubles, y permite el paso de la solución a través de los poros.
Embudo	Trasvasar líquidos, para evitar derrames.
Equipo de adsorción atómica	Esta técnica se utiliza para determinar la concentración de un elemento particular.

Panel Fotográfico

Botellas, embudo, papel filtro



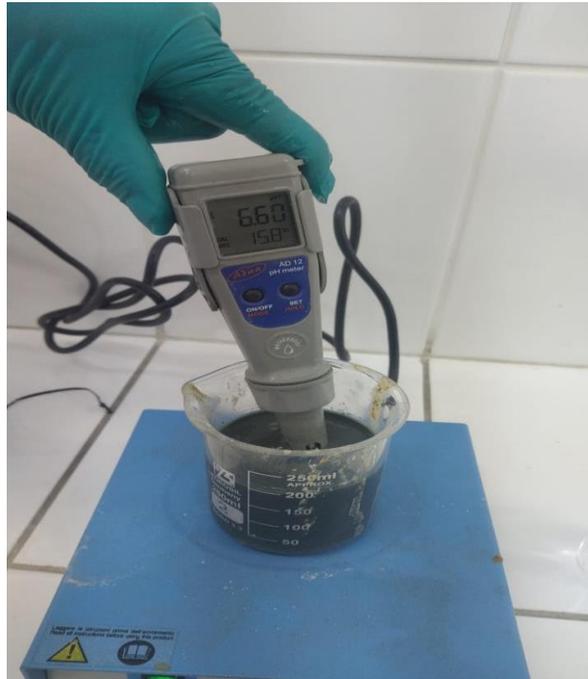
Agitador magnético



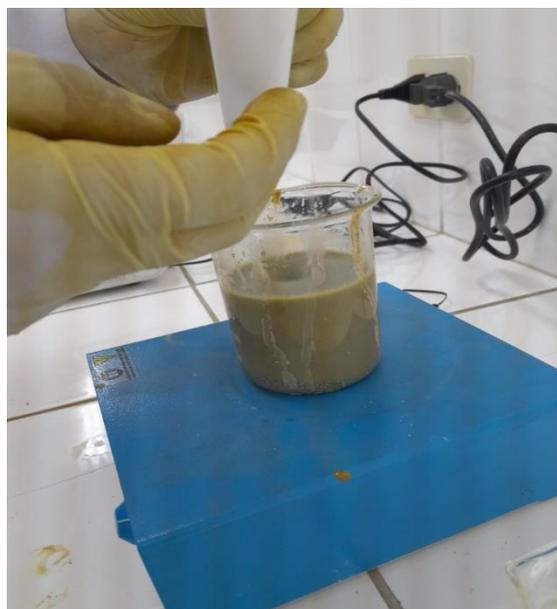
Balanza eléctrica



Potenciómetro



Vasos de precipitación



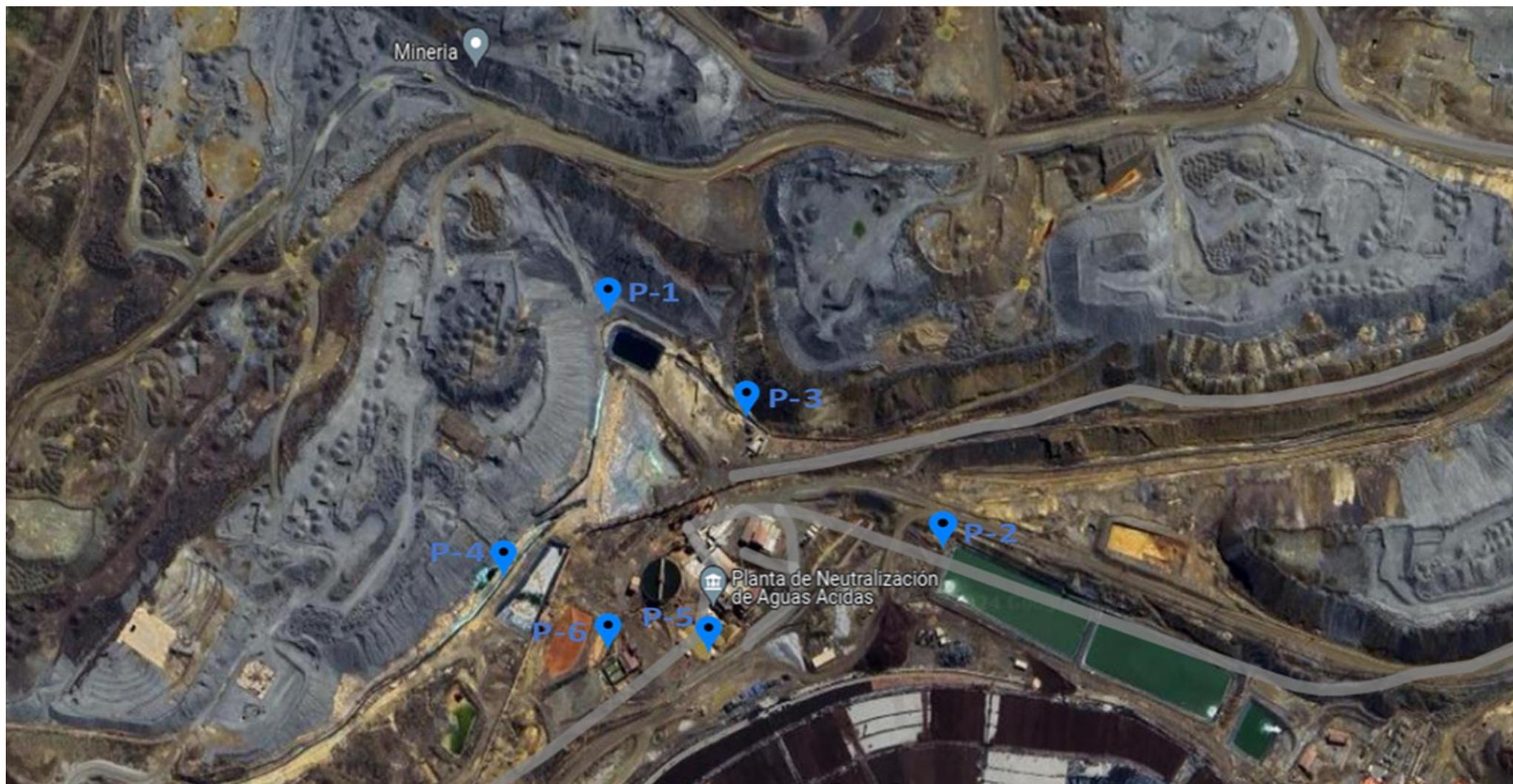
Lunas de reloj



Equipo para el análisis químico de las muestras



Anexos – 2 Puntos de Muestreo Empresa Administradora Cerro S.A.C



Optimización de Neutralización de Aguas Ácidas para la Precipitación de Metales a Nivel Laboratorio en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. – Pasco - 2023

Matriz de consistencia

TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACION	PROBLEMA GENERAL Y ESPECIFICOS	OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS	HIPOTESIS GENERAL Y ESPECIFICOS	Factores - Indicadores	DISEÑO DE INVESTIGACION	METODOS TECNICAS DE INVESTIGACION	POBLACION Y MUESTRA DE ESTUDIO
<p>Optimización de Neutralización de Aguas Ácidas para la Precipitación de Metales a Nivel Laboratorio en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. – Pasco - 2023</p>	<p>PROBLEMA GENERAL ¿De qué manera se realiza la optimización de neutralización de aguas ácidas para la precipitación de metales a nivel laboratorio en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. – Pasco – 2023?</p> <p>PROBLEMAS ESPECIFICOS</p> <p>a. ¿En qué medida influye el pH en la precipitación de metales?</p> <p>b. ¿En qué medida el tiempo de reacción favorece la precipitación de metales?</p> <p>c. ¿Cuál es la relación del floculante para la precipitación de metales?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Determinar la optimización de neutralización de aguas ácidas para la precipitación de metales a nivel laboratorio en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. – Pasco – 2023</p> <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <p>a. Determinar el pH adecuado para la precipitación de metales</p> <p>b. Determinar el tiempo de reacción para la precipitación de metales</p> <p>c. Determinar el floculante adecuado para la precipitación de metales</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL La optimización de la neutralización de aguas ácidas mejora la precipitación de metales a nivel laboratorio en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. – Pasco - 2023</p> <p>HIPOTESIS ESPECIFICAS</p> <p>a. El pH influye directamente en la precipitación de metales</p> <p>b. El tiempo de reacción favorece la precipitación de metales</p> <p>c. El floculante influye la precipitación de metales</p>	<p>Vi = V1 Optimización de la Neutralización de Aguas Ácidas</p> <p>Factores:</p> <p>a. pH</p> <p>b. Tiempo de reacción (agitación)</p> <p>c. Floculante</p> <p>Vd = V2 Precipitación de Metales</p>	<p>El diseño es experimental, porque se manipula intencionalmente a los factores o indicadores y las observaciones son científicas</p>	<p>METODOS Método mixto basado en la observación científica participativa, usando los instrumentos para la experimentación</p> <p>TECNICAS</p> <p>a. Recolección de información y datos secundarios</p> <p>b. La técnica estadística para el procesamiento de datos</p> <p>c. Técnica de análisis de datos</p>	<p>POBLACION Agua ácida de mina</p> <p>MUESTRA Pequeñas cantidades de agua ácida.</p>

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TEMA: Optimización de Neutralización de Aguas Ácidas para la Precipitación de Metales a Nivel Laboratorio en la Empresa Administradora Cerro S.A.C.-Pasco-2023

OBJETIVO GENERAL: Determinar la optimización de neutralización de aguas ácidas para la precipitación de metales a nivel laboratorio en la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Unidad Cerro. – Pasco - 2023

Objetivo específico	Unidad de análisis	Variable conceptual	Variable Operacional	Indicador	Valor del indicador	Técnica a utilizar	Instrumento
OBJETIVO ESPECIFICO 1 a) Determinar el pH adecuado para la precipitación de metales.	Artículos científicos	La neutralización del pH de una solución, consiste en agregar una solución alcalina.	pH	pH. 7.0-8.0	potenciómetro	Revisión bibliográfica	Ficha del D.S N 010-2010-MINAN
					Papel pamepa		
OBJETIVO ESPECIFICO 2 b) Determinar el tiempo de agitación para la precipitación de metales.		Se realizó los ensayos experimentales preliminares o de diagnóstico, con la finalidad de precipitar a los metales pesados solubilizados; ensayos que sirvió para determinar los factores principales	Tiempo de agitación	10.0 -14.0	cronometro		
			Sedimentación	Fe, Pb Cu, Zn	coloración		
OBJETIVO ESPECIFICO 3 c) Determinar la dosificación adecuada del floculante para la precipitación de metales.		Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes	Floculante	Peso 0.01gr Probeta de 100ml	Tiempo de reacción del floculante para la precipitación de los metales		Ficha técnica del floculante MT-4285

Anexo - 3

Resultados de los análisis químicos de las muestras

1 de 1



LABORATORIO QUIMICO OXIDOS



CERTIFICATE No. ER-0320-21

INFORME DE ENSAYO
PNT-JUL-0021

Tipo de Muestra:	Líquidas (Pulpa)	Cliente:	
Procedencia:		Solicitado por:	
Muestreado por:	Cliente	Cantidad de muestras:	2
Descripción:	Análisis de Cianuro y Metales	Condición de las muestras:	Conforme
Fecha de Recepción:	22/07/2023	Fecha de Reporte:	23/07/2023

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificación de la muestra			Análisis		
N°	Método Análisis Unidad	Hora de muestreo	CN_Libre ppm	CN Wad ppm	CN_Total ppm
	Limite de Detección, LD			0.001	0.001
1	ROX 1	07:01:00 a. m.	*	-	-
2	ROX 3	08:17:00 a. m.	*	-	-

Identificación de la muestra			Análisis							
N°	Método Análisis Unidad	pH	QM_Q03FA-2 Cu Disuelto ppm	QM_Q03FA-2 Cu Total ppm	QM_Q04AA-3 Pb Disuelto ppm	QM_Q04AA-3 Pb Total ppm	QM_Q04AA-3 Zn Disuelto ppm	QM_Q04AA-3 Zn Total ppm	QM_Q04AA-3 Fe Disuelto ppm	QM_Q04AA-3 Fe Total ppm
1	ROX 1	1,12	5,6	*	48,5	*	16,8	*	128,00	*
2	ROX 3	1,09	5,6	*	48,5	*	16,8	*	128,00	*

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de LABORATORIO QUIMICO - OXIDOS
Nota: Los valores por debajo del LD, son referenciales.

Ismael Ramos Anzulpa
Jefe de Laboratorio Químico
CIP. 148946

Joseph Cruz Huanca
Supervisor de Calidad
CIP. 211637



LABORATORIO QUIMICO OXIDOS



CERTIFICATE No. ER-0320-21

INFORME DE ENSAYO
PNT-JUL-0027

Tipo de Muestra:	Líquidas (Pulpa)	Cliente:	
Procedencia:		Solicitado por:	
Muestreado por:	Ciente	Cantidad de muestras:	2
Descripción:	Análisis de Cianuro y Metales	Condición de las muestras:	Conforme
Fecha de Recepción:	24/07/2023	Fecha de Reporte:	25/07/2023

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificación de la muestra			Análisis		
N°	Método Análisis Unidad	Hora de muestreo	CN Libre ppm	CN Wad ppm	CN Total ppm
	Limite de Detección, LD			0.001	0.001
1	NDX 1	6:00 a.m	-	-	-
2	NDX 3	7:38 a.m	-	-	-

Identificación de la muestra		Análisis								
N°	Método Análisis Unidad	pH	QM_003FA-2 Cu Disuelto ppm	QM_003FA-2 Cu Total ppm	QM_004AA-3 Pb Disuelto ppm	QM_004AA-3 Pb Total ppm	QM_004AA-3 Zn Disuelto ppm	QM_004AA-3 Zn Total ppm	QM_004AA-3 Fe Disuelto ppm	QM_004AA-3 Fe Total ppm
1	NDX 1	1,03	3,4	*	45,2	*	15,6	*	120,2	*
2	NDX 3	1,13	5,48	*	50,46	*	17,67	*	129,48	*

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de LABORATORIO QUÍMICO - OXIDOS
 Nota: Los valores por debajo del LD, son referenciales.


Ismael Ramos Anquipa
 Jefe de Laboratorio Químico
 CIP. 148946


Joseph Cruz Huanca
 Supervisor de Calidad
 CIP. 211637



LABORATORIO QUIMICO OXIDOS



CERTIFICATE No. ER-0320-21

INFORME DE ENSAYO
PNT-JUL-0029

Tipo de Muestra:	Líquidas (Pulpa)	Cliente:	
Procedencia:		Solicitado por:	
Muestreado por:	Cliente	Cantidad de muestras:	2
Descripción:	Análisis de Cianuro y Metales	Condición de las muestras:	Conforme
Fecha de Recepción:	26/07/2023	Fecha de Reporte:	27/07/2023

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificación de la muestra			Análisis		
N°	Método Análisis Unidad Límite de Detección, LD	Hora de muestreo	CN_Libre ppm	CN Wad ppm	CN_Total ppm
1	NOX 1	7:00 a.m	-	-	-
2	NOX 3	8:29 a.m	-	-	-

Identificación de la muestra			Análisis							
N°	Método Análisis Unidad	pH	QM_Q03FA-2 Cu Disuelto ppm	QM_Q03FA-2 Cu Total ppm	QM_Q04AA-3 Pb Disuelto ppm	QM_Q04AA-3 Pb Total ppm	QM_Q04AA-3 Zn Disuelto ppm	QM_Q04AA-3 Zn Total ppm	QM_Q04AA-3 Fe Disuelto ppm	QM_Q04AA-3 Fe Total ppm
1	NOX 1	1.00	5,48	*	50,46	*	17,67	*	129,48	*
2	NOX 3	1.50	3,2	*	45,00	*	15,1	*	120,15	*

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de LABORATORIO QUÍMICO - OXIDOS

Nota: Los valores por debajo del LD, son referenciales.

Ismael Ramos Anquipa
Jefe de Laboratorio Químico
CIP. 148946

Joseph Cruz Huanca
Supervisor de Calidad
CIP. 211637



LABORATORIO QUIMICO OXIDOS



CERTIFICATE No. ER-0320-21

INFORME DE ENSAYO
PNT-JUL-0027

Tipo de Muestra:	Líquidas (Pulpa)	Cliente:	
Procedencia:		Solicitado por:	
Muestreado por:	Cliente	Cantidad de muestras:	2
Descripción:	Análisis de Cianuro y Metales	Condición de las muestras:	Conforme
Fecha de Recepción:	26/07/2023	Fecha de Reporte:	27/07/2023

RESULTADOS ANALÍTICOS

Identificación de la muestra			Análisis		
N°	Método Análisis Unidad Límite de Detección, LD	Hora de muestreo	CN Libre ppm	CN Wad ppm	CN Total ppm
1	ROX 1		-	-	-
2	ROX 3		-	-	-

Identificación de la muestra			Análisis							
N°	Método Análisis Unidad	pH	QM_Q03FA-2 Cu Disuelto ppm	QM_Q03FA-2 Cu Total ppm	QM_Q04AA-3 Pb Disuelto ppm	QM_Q04AA-3 Pb Total ppm	QM_Q04AA-3 Zn Disuelto ppm	QM_Q04AA-3 Zn Total ppm	QM_Q04AA-3 Fe Disuelto ppm	QM_Q04AA-3 Fe Total ppm
1	ROX 1	7,15	0,3	*	0,09	*	1,1	*	1,5	*
2				*		*		*		*

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de LABORATORIO QUIMICO - OXIDOS
 Nota: Los valores por debajo del LD, son referenciales.

Ismael Ramos Anquiya
 Jefe de Laboratorio Químico
 CIP. 148946

Joseph Cruz Huanca
 Supervisor de Calidad
 CIP. 211637

Anexo – 4

Ficha técnica de floculante

MT - 4285

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

1. Generalidades

Descripción del Producto	MT- 4285
Proveedor	Copolimeros de acrilamida con grupos acrilato en aumento MAGNATRADE CORPORATION Representante en Perú: Mercantil S.A. Calle Santorin N°243 - Urb. El Vivero, Santiago de Surco 618-1616

2. Composición / Identificación de Componentes

Ingredientes	CAS #
Poliacrilamida aniónica	9003-05-8

3. Identificación de peligros

Peligros Humanos
Ninguno

4. Medidas de Primeros Auxilios

Ingestión	No se encontró que el material sea lesivo por ingestión. No son necesarias medidas especiales de primeros auxilios.
Contacto con la piel	Lavarse inmediatamente con abundante agua y jabón.
Contacto con los ojos	Enjuagar inmediatamente con abundante agua durante por lo menos 15 minutos.
Inhalación	No se anticipa que el material sea lesivo por inhalación. Retirar la víctima al aire libre.

5. Medidas Contra Incendio

Medios de extinción	Utilizar agua, bióxido de carbono o un agente químico seco.
Equipamiento protector	Los bomberos y otras personas que pudieran estar expuestas deben usar aparatos respiratorios independientes.
Peligros especiales	El polvo puede ser explosivo si se mezcla con el aire en proporciones críticas y en la presencia de una fuente de ignición.

6. Medidas de Liberación Accidental

Precauciones personales	Evitese el contacto con los ojos y la piel.
Métodos para la limpieza	Los derrames son muy resbalosos cuando están mojados. Resbaladizo cuando está mojado. Barrer y colocarlo en recipientes para descarte. Enjuagar con agua el área del derrame. Si permanece resbaladizo, aplicar mas compuesto para barrido en seco. Evitar que el líquido ingrese a desagües sanitarios.

7. Manejo y Almacenamiento

Manejo	Trate de no crear polvo
Almacenamiento	Para evitar la degradación del producto y la corrosión del equipo, no utilizar contenedores ni equipo de hierro, cobre o aluminio
Temperatura de almacenamiento	4 - 32 C Razón : integridad
Tiempo de vida	12 meses a partir de su fecha de fabricación

8. Controles de exposición/ protección

Parámetros de control - Límites	Los valores no están establecidos.
Medidas De Ingeniería	Generalmente no hacen falta controles de ingeniería si se siguen buenas prácticas de higiene.
Protección Respiratoria	No se recomienda ninguno.
Protección Para Los Ojos	Usar protección ocular/ facial.
Protección De La Piel	Usar guantes impermeables.
Adicional	Antes de comer, beber o fumar, lavarse la cara y las manos minuciosamente con jabón y agua.

9. Propiedades Físicas y Químicas

Color	Blanquecino
Estado de Material	Sólido granulado
Olor	Inodoro
Punto de ebullición	No aplicable
Punto de Fusión	No se dispone
Presión de Vapor	No se aplica
Gravedad Específica	0.75 - 0.95
Densidad gr/cc	0.5 - 0.8
% Volátil (por peso)	10 - 13 (Agua)
pH	6 - 8 (Solución acuosa)
Tasa de Evaporación	No se aplica
Solubilidad en Agua	Límite por la viscosidad
Contenido Orgánico volátil	No se dispone
Punto de Inflamación	No es aplicable
Límites de Inflamabilidad (% por Vol.)	No es aplicable
Temperatura de Auto ignición	No disponible
Temperatura de Descomposición	No disponible

10. Estabilidad y Reactividad

Estabilidad	Buena
Condiciones a evitar	No se conoce ninguno
Materiales a evitar	No hay una incompatibilidad específica.
Productos peligrosos de la descomposición	Dióxido de carbono; monóxido de carbono; amoníaco, óxidos de nitrógeno



MAGNATRADE CORP

11. Información Toxicológica

Clasificación de sustancia / preparación de la CEE

DL50 Oral (rata)	No se aplica	> 5000 mg/kg (actual)
DL50 Dermal (conejo)	No se aplica	> 10000 mg/kg (actual)
CL50 Inhalación (rata de 4 horas)	No hay datos	
Irritación de la piel (conejo)	No irritante	
Irritación de los ojos (conejo)	No irritante	
Sensibilización Dermal	No sensibilizante	
Sensibilización de la Inhalación	No sensibilizante	
Prueba Salmonella Ensayo	No hay datos	

Efectos potenciales para la salud

Ninguno

Datos sobre la toxicidad de los ingredientes peligrosos

No hay componentes peligrosos

12. Información Ecológica

Evaluación	Con base en los resultados de ensayos de Biodegradabilidad a 5 días, este producto no es fácilmente biodegradable (10% después de 28 días). Demanda Química de Oxígeno (DQO): 0.29 Mg. O ₂ /Mg. "Marine Copepod" (<i>Acartia tonsa</i>), LC50:342mg/lit en 48 hr., "Algas Marinas" LC:2276 mg/lit en 72hr, "Marine Amphipod" (<i>Corophium volutator</i>), LC50:1415 mg/lit a 10 días. DBO28 del Agua de Mar: 1.7% Toda la información ecológica provista se realizo es un producto estructuralmente similar.
Resultados de pruebas	Pez luna de agalla azul (<i>Lepomis macrochirus</i>), CL50 de 96 horas: 180 mg/L. Trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>), CL50 de 96 horas: 130 mg/L Carpa cabeza gorda (<i>Pimephales promelas</i>), CL50 de 96 horas: 670 mg/L Pulga de Agua (<i>Daphnia magna</i>), CE50 de 48 horas: > 1000 mg/L Pulga de Agua (<i>Ceriodaphnia dubia</i>), CE50 de 48 horas: 24 mg/L Coeficiente de Partición de Octanol/H ₂ O: No disponible

13. Consideraciones de Disposición

Estamos a favor del reciclaje, recuperación y reuso de materiales siempre que sea posible. Si es necesario disponer algún material, recomendamos que los materiales orgánicos, especialmente cuando estos estén clasificados como residuos peligrosos sean destruidos por tratamiento térmico o incineración en plantas autorizadas.
Deben observarse todas las reglamentaciones locales y nacionales.

14. Información de Transporte

ADR/RID

No es aplicable

INFORMACION SOBRE EMBARQUES INTERNACIONALES

IMO

Nombre del empaque	No es aplicable / no esta regulado
Clase de peligro	No es aplicable
Clase subsidiaria	No es aplicable
Numero de la ONU	No es aplicable
Grupo de embalaje	No es aplicable
Rotulo de transporte exigido	Ninguno requerido

ICAO/IATA

Nombre de empaque	No es aplicable
Clase de peligro	No es aplicable
Clase subsidiaria	No es aplicable
Numero de la ONU	No es aplicable
Grupo de embalaje	No es aplicable
Rotulo de transporte exigido	Ninguno requerido

INFORMACION ADICIONAL DE TRANSPORTE

Nombre técnico (N.E.O.M.): No es aplicable

15. Información Reglamentaria

MARCADO Y ROTULACION DEL CEE:

Simbolo	Ninguno exigido
Frasas de riesgo	Ninguno
Frasas de seguridad	S24/25 Evítese el contacto con los ojos y la piel. S82 Los derrames son muy resbalosos cuando están mojados.

INFORMACION DE INVENTARIO

CEE EINECS	Todos los componentes de este producto se incluyen en el Inventario Europeo de Sustancias Químicas Existentes (sigla en ingles EINECS) en cumplimiento con la Directiva del Consejo 67/548/EEC y sus modificaciones.
US TSCA	Este producto se fabrica en cumplimiento de todas las disposiciones del Acta de Control de Sustancias Toxicas, 15 U.S.C. 2601 et. seq.
CANADA DSL	Componentes de este producto han sido reportados a Environment Canadá de acuerdo con la sub.-sección 25 del Acto de Protección de Environment Canadá y están incluidas en la Lista de Sustancias Domesticas.

16. INFORMACION ADICIONAL



CLASIFICACIÓN DE RIESGO NFPA (Asociación Nacional de Protección Contra Incendios)

FUEGO: - 0 -

Materiales que no se queman, como el agua o expuesto a una temperatura de 815° C (1.500°F) por más de 5 minutos.

SALUD: - 0 -

Materiales bajo cuya exposición no existe peligro en caso de ingestión o inhalación en dosis considerables

REACTIVIDAD: - 0 -

Normalmente estable, incluso bajo exposición al fuego y no es reactivo con agua

La información puede ser exacta y es actualmente la información disponible por nosotros. Sin embargo, no garantizamos la comerciabilidad o cualquier otra autorización, expresada o implícita, con respecto a tal información, y no asumimos ninguna responsabilidad que resulte de su uso. Los usuarios deberían hacer sus propias investigaciones para determinar la conveniencia de la información para sus usos particulares.