

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**“EFECTO DE LA NEUTRALIZACIÓN-PRECIPITACIÓN QUÍMICA
EMPLEANDO HIPOCLORITO DE SODIO Y ÓXIDO DE CALCIO, EN
LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN LAS AGUAS ACIDAS
DEL PASIVO AMBIENTAL QUIULACocha, DISTRITO DE SIMÓN
BOLIVAR, PASCO - 2021”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL**

AUTORA: Vargas Baldeon, Alexandra

ASESOR: Calixto Vargas, Simeón Edmundo

HUÁNUCO – PERÚ

2022

U



TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación ambiental.

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, tecnología.

Sub área: Ingeniería ambiental.

Disciplina: Ingeniería ambiental y geológica.

D

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 75611621

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22471306

Grado/Título: Maestro en administración de la educación.

Código ORCID: 0000-0002-5114 -4114

H

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Zacarías Ventura, Héctor Raúl	Maestro en ciencias de la educación	22515329	0000-0002-7210-5675
2	Tarazona Miraval, Herman Atilio	Maestro en gestión y planeamiento educativo	22411008	000-0001-5319-4-708
3	Fernández Escobar, Angie Tatyana	Maestra en agroecología, mención gestión ambiental	77127919	0000-0002-0666-900X



UNIVERSIDAD DE HUANUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 20:00 horas del día 30 del mes de mayo del año 2022, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** mediante la plataforma Google Meet integrado por los docentes:

- Dr. Héctor Raúl Zacarías Ventura (Presidente)
- Mg. Herman Atilio Tarazona Miraval (Secretario)
- Mg. Angie Tatyana Fernández Escobar (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N°1060-2022-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **“EFECTO DE LA NEUTRALIZACIÓN-PRECIPITACIÓN QUÍMICA EMPLEANDO HIPOCLORITO DE SODIO Y ÓXIDO DE CALCIO, EN LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN LAS AGUAS ACIDAS DEL PASIVO AMBIENTAL QUIULACOCHA, DISTRITO DE SIMÓN BOLIVAR, PASCO - 2021”**, presentado por el (la) Bach. **Alexandra VARGAS BALDEON**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándola **APROBADA** por **UNANIMIDAD** con el calificativo cuantitativo de **14** y cualitativo de **SUFICIENTE** (Art. 47)

Siendo las 21:44 horas del día 30 del mes de mayo del año 2022, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Presidente

Secretario

Vocal

DEDICATORIA

A mi Señor Dios, por ser guía en mi caminar y protegerme.

A mis padres, por su amor infinito, sus oraciones y las constantes palabras confortantes.

A mis hermanas, porque son una de mis más grandes motivaciones, siempre las tengo en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

Estoy muy orgullosa de poder nombrar a todas las personas y organizaciones que fueron parte de este camino para lograr esta meta tan anhelada que es mi título profesional.

A Dios, mi salvador, por darme la fuerza y toda voluntad para seguir adelante en todo este proceso y el privilegio de poder culminar con éxito esta meta.

Asimismo, agradezco especialmente a mi Madre, por lo abrazos y palabras confortantes, a mi Padre por sus consejos y ser mi soporte en las salidas de campo pese a los inconvenientes que se nos presentaron.

A mi amigo, Erick Paredes, por ayudarme con la investigación, por su paciencia, sus consejos y su apoyo cuando más lo necesitaba.

Al laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva por facilitarme los datos de las muestras el cual me fue de gran utilidad.

Finalmente, a la empresa Volcán Cía Minera que me ha permitido desarrollar el proceso de investigación de mi proyecto, gracias por el apoyo brindado.

¡Muchas gracias!

Alexandra

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURA	viii
INDICE DE FOTOGRAFÍAS	ix
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO I.....	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1 Descripción del problema.....	13
1.2 Formulación del problema.....	14
1.2.1. Problema general.....	14
1.2.2. Problemas específicos.....	14
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo general.....	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
1.4 Justificación de la investigación.....	15
1.5 Limitaciones de la investigación.....	16
1.6 Viabilidad de la investigación.....	16
1.6.1 Viabilidad ambiental.....	16
1.6.2 Viabilidad operativa.....	16
1.6.3 Viabilidad técnica.....	17
1.6.4 Viabilidad social.....	17
1.6.5 Viabilidad económica.....	17
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes de la investigación.....	18
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	18
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	19

2.1.3. Antecedentes locales	22
2.2. Bases Teóricas	23
2.2.1. Neutralización – Precipitación Química	23
2.2.2. Metales pesados en aguas acidas	29
2.3. Definiciones conceptuales	46
2.4 Hipótesis	48
2.5. Variables	48
2.5.1. Variable Independiente	48
2.5.2. Variable Dependiente	48
2.6. Operacionalización de variables	49
CAPÍTULO III	50
MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	50
3.1. Tipo de investigación	50
3.1.1. Enfoque.....	50
3.1.2. Alcance o nivel.....	50
3.1.3. Diseño.....	50
3.2. Población y muestra	51
3.2.1. Población	51
3.2.2. Muestra	52
3.3. Técnicas e instrumento de recolección de datos.	52
3.3.1. Técnicas para la recolección de datos.....	53
3.3.2. Para la presentación de datos	56
3.4. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.	57
CAPÍTULO IV.....	58
RESULTADOS.....	58
4.1. Procesamiento de datos	59
4.2. Contrastación de Hipótesis y Prueba de hipótesis.....	64
CAPÍTULO V.....	72
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	72
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Compuesto químico utilizado en el tratamiento neutralización - precipitación química de drenajes ácidos.	28
Tabla 2	Componentes empleados para la remoción de iones metálicos pesados por precipitación.	28
Tabla 3	Características física y químicas del drenaje ácido de mina.	35
Tabla 4	Clasificación de las aguas residuales de mina en función al pH.	36
Tabla 5	En función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales	37
Tabla 6	Clasificación de los drenajes de mina partir del pH y el contenido de oxígeno y metales pesados y lo agrupan en 5 tipos.	39
Tabla 7	Metodologías preventivas de formación de Drenaje Ácido de Mina.	42
Tabla 8	Ventajas y desventajas de un tratamiento activo.....	43
Tabla 9	Coordenadas UTM del Pasivo ambiental Quiulacocha.	52
Tabla 10	Materiales y equipos utilizados en el muestreo.....	54
Tabla 11	Análisis inicial y final de las muestras de agua del pasivo ambiental empleando Oxido de Calcio.	58
Tabla 12	Análisis inicial y final de las muestras de agua del pasivo ambiental empleando Hipoclorito de sodio.	58
Tabla 13	Medición del pH del agua acida (inicial y final).....	59
Tabla 14	Medición de la Conductividad Eléctrica (C.E.) del agua acida (inicial y final)	60
Tabla 15	Diferencia de Metales pesados antes y después de la neutralización y precipitación química usando Óxido de Calcio.	61
Tabla 16	Diferencia de Metales pesados antes y después de la neutralización y precipitación química usando Hipoclorito de Sodio.....	62
Tabla 17	Prueba de normalidad en las mediciones usando la prueba de Kolmogorov-Smirnov	63
Tabla 18	Prueba T para muestras independientes estadísticas de grupo.....	65
Tabla 19	Prueba de muestras independientes.....	66
Tabla 20	Interpretación de la Conductividad Eléctrica (C.E.) inicial y final con la neutralización y precipitación química.....	67

Tabla 21	Interpretación de pH inicial y final con la neutralización y precipitación química.	67
Tabla 22	Interpretación del promedio de la concentración de Zinc (Zn) antes y después de la intervención.....	68
Tabla 23	Interpretación del promedio de la concentración de Cobre (Cu) antes y después de la intervención.....	68
Tabla 24	Interpretación del promedio de la concentración de Plomo (Pb) antes y después de la intervención.....	69
Tabla 25	Interpretación del promedio de la concentración de Hierro (Fe) antes y después de la intervención.....	69

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1	Proceso de neutralización – precipitación química con Cal hidratada convencional.	25
Figura 2	Etapas en la formación de aguas ácidas.....	41
Figura 3	Medición del pH del agua acida (inicial y final).....	59
Figura 4	Medición de la Conductividad Eléctrica (C.E.)	60
Figura 5	Diferencia de metales pesados con Óxido de Calcio (CaO)	61
Figura 6	Diferencia de metales pesados con Hipoclorito de Sodio (NaClO).	62

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1:	Observación del lugar y toma de muestras.	93
Fotografía 2:	Medición del pH del agua acida de la Laguna Quiulacocha.	93
Fotografía 3:	Etiquetado y rotulado de las muestras iniciales.	94
Fotografía 4:	Elaboracion de lechada de cal.	94
Fotografía 5:	Se agrego gradualmente la solución de lechada de cal en cada vaso precipitado.	95
Fotografía 6:	Adaptación y lectura del pH.	95
Fotografía 7:	El Hipoclorito de Sodio se agrego gradualmente a cada vaso precipitado.	96
Fotografía 8:	Las soluciones resultantes de Óxido de calcio y Hipoclorito de sodio antes de dejarlas reposar.	96
Fotografía 9:	Las soluciones resultantes finales de Óxido de calcio y Hipoclorito de sodio después de dejarlas reposar.	97
Fotografía 10:	Las muestras finales se almacenan en un cooler para ser enviadas al laboratorio.	97

RESUMEN

El **objetivo** de la presente investigación fue, demostrar el efecto de la neutralización-precipitación química empleando hipoclorito de sodio y óxido de calcio, en la remoción de metales pesados en las aguas acidas del pasivo ambiental, Distrito de Simón Bolívar, Pasco – 2021. En cuanto a la **metodología** de la investigación fue experimental y explicativo, se tuvo dos grupos operacionales con cinco repeticiones cada uno. Se empleo el método químico, neutralización-precipitación usando hipoclorito de sodio y lechada de cal al 10% para comprobar el efecto en la remoción de metales pesados, además la modificación de los parámetros físicos-químicos. Los **resultados** empleando lechada de cal al 10% son satisfactorios, logrando una remoción del Zinc 99.99%, Cobre 99.68%, Plomo 65.67%, Hierro 99.96% y Conductividad Eléctrica 2.566 mS/cm, mientras que , empleando Hipoclorito de Sodio se logró una remoción del Zinc 99.91%, Cobre 66.91%, Plomo 81.39% y Hierro 99.94% y Conductividad Eléctrica 39.462 mS/cm, también se investigó las características técnicas del pasivo ambiental. Se **concluyó** que el tratamiento es más eficiente usando el óxido de calcio, ya que se logró mayor porcentaje de remoción de los parámetros físicos – químicos alcanzando estar dentro de los Estándares de Calidad Ambiental de agua - Categoría 3 , a pesar de que el pH 9 excedió la ECA- Categoría 3 , por el contrario con el hipoclorito de sodio los resultados no son satisfactorios debido a que superan considerablemente los Estándares de Calidad Ambiental de agua Categoría 3: agua para riego de vegetales y el pH que se obtuvo fue de 3 , siendo este todavía ácido.

Palabras claves: Neutralización-precipitación química, hipoclorito de sodio, óxido de calcio, remoción de metales pesados, aguas acidas.

ABSTRACT

The **objective** of this research was to demonstrate the effect of chemical neutralization-precipitation using sodium hypochlorite and calcium oxide, in the removal of heavy metals in the acidic waters of the environmental liability, District of Simon Bolivar, Pasco - 2021. The **methodology** was experimental and explanatory, with two operational groups with five replicates each. The chemical method, neutralization-precipitation using sodium hypochlorite and 10% lime slurry was used to test the effect on the removal of heavy metals, as well as the modification of the physical-chemical parameters. The **results** using 10% lime slurry are satisfactory, achieving a removal of Zinc 99.99%, Copper 99.68%, Lead 65.67%, Iron 99.96% and Electrical Conductivity 2.566 mS/cm, while, using sodium hypochlorite, a removal of Zinc 99.91%, Copper 66.91%, Lead 81.39% and Iron 99.94% and Electrical Conductivity 39.462 mS/cm was achieved, the technical characteristics of the environmental liability were also investigated. It was **concluded** that the treatment is more efficient using calcium oxide, since a pH of 9 was achieved and the removal of the physical-chemical parameters are within the Environmental Water Quality Standards - Category 3, on the contrary with sodium hypochlorite the results are not satisfactory because they greatly exceed the Environmental Water Quality Standards - Category 3: water for vegetable irrigation and the pH obtained was 3, being this still acidic.

Key words: Neutralization-chemical precipitation, sodium hypochlorite, calcium oxide, heavy metal removal, acidic waters.

INTRODUCCIÓN

En la extracción de minerales, la excavación por socavón y tajo se producen grandes cantidades de desmonte que al estar expuesto a la acción del aire y agua se produce drenaje ácido con alto contenido de sulfatos, metales pesados y óxidos, lo cual ocasiona contaminación de las aguas subterráneas y superficiales perjudicando a los ríos más cercanos y lagunas, estos deben ser tratados correctamente anticipado a su descarga para no dañar la flora y fauna local. Estas operaciones mineras dejan, con el tiempo minas huérfanas y minas abandonadas hasta el momento del cierre oficial, de modo que se convierten en una fuente potencial de contaminación, causando daños irreparables. Perú por ser uno de los países mineros por excelencia al mismo tiempo es uno de los países que se encuentran más contaminados por la minería.

El pasivo ambiental Quiulacocha tiene una extensión de 110 hectáreas y contiene cerca de 70 millones de toneladas de desechos consecuencia de las operaciones de Cerro de Pasco Cooper Corporation y Centromín Perú S.A. El centro poblado Quiulacocha se encuentra a una distancia de 2 Kilómetros de la relavera, el inconveniente de contaminación provocado por las aguas ácidas está afectando a la población y a la pérdida de las tierras ganaderas (camélidos y ovinos) debido a que la vivienda más cercana del centro poblado de Quiulacocha a la relavera es de 30 metros más o menos, convirtiéndose la laguna Quiulacocha en uno de los desastres ecológico más severos ocasionado por la minería en Cerro de Pasco.

Neutralización - precipitación química es un método de tratamiento eficaz y económico para superar y controlar el drenaje ácido de mina esto se puede ejecutar en instalaciones que se hallan en abandono u operación. Este método requiere de reactivos para neutralizar la acidez como caliza, cal hidratada, cal viva, soda caustica, carbonato de sodio, gracias a esto se consigue una determinante reducción de los metales pesados, elevar el pH y eliminar contaminantes como sólidos en suspensión, etc., logrando así un drenaje más limpio que tiene efectos positivos en las personas y el medio ambiente.

De modo que, esta investigación está compuesta por el Capítulo I donde se desarrolló la descripción del problema, formulación del problema, objetivos, justificación, limitaciones y viabilidad de la investigación.

En el segundo capítulo se desarrolló una descripción de los contextos internacional, nacional y local, así como fundamentos teóricos y definiciones conceptuales de la investigación, formulación de hipótesis y operación de variables.

El Capítulo III, contiene el método utilizado en esta investigación, la longitud focal, el rango y el diseño; También se han identificado muestras de población e investigación, así como técnicas y herramientas de recolección de datos y tecnología de datos para tratar y analizar información.

El cuarto capítulo trata de los resultados obtenidos de la investigación, incluyendo la interpretación y análisis de los resultados, así como la varianza y comprobación de las hipótesis de investigación.

El capítulo cinco presenta una discusión de los resultados, además de las conclusiones extraídas del proyecto de investigación, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema

La minería ha sido parte de la historia y el desarrollo económico de las naciones durante siglos. A pesar de ello, como toda actividad industrial, también tiene un gran impacto en el medio ambiente. El drenaje ácido de mina es uno de los primordiales problemas que se enfrentan cuando se extraen minerales y carbón (Lapakko, 2002).

El agua ácida de mina se forma cuando entra en contacto con sulfuros, que son de origen mineral en las rocas huésped o durante la mineralización primaria, en existencia de oxígeno y agua se oxidan. El principal mineral sulfúrico que causa acidez es la pirita. La acidificación del agua disuelve minerales ricos en metales pesados como Pb, Hg, Cd, As y Cr. Todo esto conduce a la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, que a su vez afecta a los ríos y lagos. (Calvo et al, 2013).

Hay muy pocas plantas de tratamiento de aguas ácidas en el Perú, aunque existen regulaciones ambientales más estrictas y los organismos de protecciones ambientales peruanas como Osinergmin y OEFA, implementan controles más estrictos y buscan cumplir con las normas internacionales como el (LMP) de metales pesados, acidez y otros en aguas residuales (Medina, 2018).

El Perú por su actividad minera es reconocida como tal a nivel mundial, estas actividades son generadoras de residuos que normalmente no son tratadas, terminando así afectando los ecosistemas de los ríos, lagos y mares. Esto debido a las minas abandonadas que originan pasivos ambientales como los DAM, que causan un alto impacto ambiental al ambiente, por ello se busca un tratamiento que sea eficiente en el tiempo de duración del proceso y que a su vez genere la menor cantidad de lodos y logre adaptarse a los distintos niveles de acidez que es característico de cada lugar donde se genere DAM, de igual manera poder evitar fuertes multas para las empresas mineras (Loayza, 2015).

Los metales pesados son actualmente el contaminante más tóxico de los residuos mineros, lo que se convirtió en un problema grave de salud pública. (Rimarachin y Huaranga, 2017).

Según estadísticas del Departamento de Energía y Minas, al 2015 existían 454 pasivos ambientales en la zona de Pasco, pero hasta el momento no se sabe exactamente dónde están y qué impacto tienen en la salud de las personas. Ecosistema y propiedades circundantes (Escandon, 2019).

En este trabajo se determinó el efecto de la neutralización-precipitación química empleando hipoclorito de sodio y óxido de calcio en la remoción de metales pesados presentes en las aguas ácidas del pasivo ambiental. “Este trabajo de investigación es una iniciativa del desarrollo sostenible de la región Simón Bolívar, que se basa en principios ambientales aplicados al Drenaje Ácido Minero (DAM) de responsabilidad ambiental”.

1.2 Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de la neutralización-precipitación química empleando hipoclorito de sodio y óxido de calcio, en la remoción de metales pesados en las aguas ácidas del pasivo ambiental?

1.2.2. Problemas específicos

¿Los parámetros físicos, tendrán una variación después del uso de los reactivos neutralizadores?

¿Los parámetros químicos, tendrán una variación después del uso de los reactivos neutralizadores?

¿Cuál es la interpretación de comparar los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM?

¿Cuáles son las características técnicas del área de influencia de manera indirecta del pasivo ambiental minero?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Demostrar el efecto de la neutralización-precipitación química empleando hipoclorito de sodio y óxido de calcio, en la remoción de metales pesados en las aguas acidas del pasivo ambiental, Distrito de Simón Bolívar, Pasco – 2021.

1.3.2 Objetivos específicos

Analizar la variación de los parámetros físicos después del uso de los reactivos neutralizadores.

Analizar la variación de los parámetros químicos después del uso de los reactivos neutralizadores.

Comparar los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Caracterizar técnicamente el área de influencia de manera indirecta del pasivo ambiental minero.

1.4 Justificación de la investigación

El pasivo ambiental Quiulacocha de actividad minera Volcan Cía Minera, a raíz de sus operaciones han causado rígidis impactos en el ambiente, debido al tratamiento inoportuno de desechos, aguas servidas, drenaje ácido y limpieza, afectando gravemente a la flora y fauna de la zona.

Por ello la importancia de encontrar soluciones posibles, optimas y eco amigables con el medio ambiente, bajo costo y fácil aplicación. Además, que el aporte practico de la investigación pretende resolver la falta de nuevas estrategias para mitigar el daño que genera el pasivo ambiental de actividades mineras.

El valor teórico de la investigación es que se sigan generando nuevas soluciones experimentales a partir de las conclusiones generadas, como también la implicancia metodológica está centrada en la posibilidad de que la técnica usada pueda servir en futuras investigaciones.

La investigación haciendo uso del método de neutralización – precipitación empleando Óxido de Calcio (CaO), permitió determinar si los metales pesados presentes en las aguas acidas son removidas, resolviendo así la hipótesis, además que se planteó la aplicación del Hipoclorito de Sodio (NaClO), como nueva alternativa, esto para aportar con el desarrollo sostenible y conservación del ecosistema.

1.5 Limitaciones de la investigación

Las limitaciones identificadas en el presente trabajo de investigación fueron las siguientes:

Falta de laboratorios especializados en análisis de agua por parte de nuestra universidad.

El trabajo de investigación se limita a usar 3 reactivos neutralizadores: Hipoclorito de sodio, Peróxido de hidrogeno y óxido de calcio.

La investigación se realizó a escala de laboratorio.

Las restricciones dadas por la emergencia sanitaria limitan el uso de bibliotecas.

Los antecedentes locales con respecto al proyecto de investigación carecen.

1.6 Viabilidad de la investigación

Los criterios desarrollados en la viabilidad del presente trabajo de investigación fueron las siguientes:

1.6.1 Viabilidad ambiental

El agua acidificada con restos de la actividad minera, repercuten en el aire y suelo, desarrollar un método químico dará una opción de solución a estos problemas ambientales.

1.6.2 Viabilidad operativa

La investigación se muestra viable operativamente, ya que se cuenta con los recursos necesarios como; movilidad, personal de ayuda y materiales requeridos.

1.6.3 Viabilidad técnica

La investigación se hace viable técnicamente ya que se cuenta con el asesoramiento de docentes de nuestra universidad conocedores y especializados en el área de estudio.

1.6.4 Viabilidad social

Para el desarrollo de la investigación se priorizará el respeto a los pobladores y demás personas vinculadas con el área de estudio, sin causarles perjuicios, y dándoles en conocimiento que el estudio será un beneficio de manera directa o indirecta.

1.6.5 Viabilidad económica

La investigación es viable económicamente, desde su desarrollo hasta su ejecución ya que se cuenta con los recursos económicos y financieros asumidos por el investigador.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Ide (2019) en su tesis: “Tratamiento integral de drenajes ácidos de mina mediante metodologías de adsorción química”, Universidad de Chile, tuvo por **objetivo**, estudiar un sistema de tratamiento de DAM eficiente a escala de laboratorio, utilizando métodos integrados de adsorción química (MCEx, NanoCSH y mag-MnO₂) y adsorbentes poliméricos microencapsulados, la **metodología** para la investigación fue; a) Debido al uso de microcápsulas moleculares que contienen extractos, se preparan por dos métodos simples y económicos: mecánico (evaporar el solvente) y químico (polimerizar in situ con el extracto). Este MC cuando esté listo contiene extractos con los nombres comerciales PC-88A (ácido alquilfosfónico débil) y LIX-860 N-IC competentes de readquirir zinc y cobre, según el caso. Estas micro cápsulas se han caracterizado por diferentes métodos y se han aplicado en reactores de columna continua. Se sintetizaron y caracterizaron tres adsorbentes, los cuales **resultaron** muy eficiente, lo que permite diseñar un proceso completo de descarga a ríos u otros cuerpos de agua, y validar el uso de micro y nano adsorbentes en el tratamiento de aguas, especialmente en sustancias magnetizadas, simplificando su separación de las aguas residuales tratadas evitando así las etapas de filtración y decantación. Además, utilizaron MnO₂ magnetizado. Sin embargo, en otras etapas de este proyecto se magnetizaron silicatos de calcio nano estructurados de manera similar, obteniendo resultados precisos, que permitieron utilizar adsorbentes con propiedades magnéticas.

Espinosa (1997) en su tesis: “Diseño de una planta de tratamiento para el drenaje ácido de una mina en el estado de México - Universidad Autónoma de Nuevo León”. Con el objetivo de neutralizar ácidos, precipita e hidroliza metales pesados y elimina otras impurezas como lodos, As y

Sb por precipitación y síntesis. El método utilizado es el de caracterización AMD, que muestra valores bajos de pH de 2 a 3,38 a altas concentraciones de metales disueltos, destacándose Cd, Cu, Fe, Mn y Zn, así como el alto contenido en sulfato y catión. (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+}). De acuerdo a los **resultados** a partir del sistema de tratamiento propuesto, se puede neutralizar el pH del agua debido a que la mayoría de los minerales tienen baja solubilidad y se acumulan como hidróxidos u oxihidróxidos metálicos, los cuales, a diferencia de los sulfatos, son químicamente estables en diferentes rangos de pH. **Concluyendo**, se debe prestar especial atención al Zn y al Cd, ya que son uno de los pocos metales pesados que pueden liberarse incluso al aumentar el pH. Asimismo, las características de las 3 muestras de roca (filita, esquisto y caliza) nos permiten saber si contienen elementos capaces de neutralizar AMD, obteniendo como **resultado** la filita y la caliza son los dos elementos que contienen más elementos neutros.

Espinosa et al. (2016) en su artículo: "Diseño de un sistema de tratamiento del drenaje ácido de mina basado en el proceso de lodo de alta densidad (HDS), Temascaltepec, México, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán", con el **objetivo** de diseñar una planta de procesamiento de AMD con la menor cantidad de dispositivos y reactivos. La **metodología** que hicieron fue determinar las propiedades físicas y químicas del agua ácida, probar el recipiente, asentar el sedimento, determinar la tasa óptima de lodo circulante y calcular la tasa de oxidación. Los **resultados** obtenidos muestran que es posible reducir la concentración de sólidos disueltos durante la neutralización con agua ácida de 5135 mg/L a 3320 mg/L, la concentración de hierro también se reduce en 72,6 mg/L a 0 mg/L porque AMD ha sido neutralizado. después de la precipitación de iones de hierro en forma de hidróxido de hierro [$\text{Fe}(\text{OH})_3$].

2.1.2. Antecedentes nacionales

Jiménez (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, Universidad Peruana Unión”, tuvo por **objetivo** analizar la eficacia de la eliminación de metales presentes en aguas minerales ácidas mediante neutralización activa con lechada de cal. La **metodología** se divide en cuatro etapas: primero, medir el caudal y las propiedades del agua ácida, y segundo, probarlo en el laboratorio mediante la neutralización de cal, leche y fertilizantes inorgánicos y químicos, el tercer paso es adaptar la leche del método de cal al sistema actual, y el cuarto paso es analizar los parámetros físicos, químicos e inorgánicos en campo. Los **resultados** obtenidos “remueven metales pesados de aguas residuales de campo a pH 8.1, EC 5.1 ms/cm y OD 5.5 mg/L resultando en la remoción de 99.96% Aluminio, 99.70% Berilio, 99.80% , Cadmio 99.90% Co, 99,90% Cobre, 99,50% Cromo, 99,98, Hierro 83,50% Mg, 98,70% Mn, 99,90% y 0% de Arsénico, Níquel y Plomo”. Se **concluyó** que, al neutralizar el agua ácida por el método de lechada de cal, suprimen de manera efectiva los parámetros físicos, químicos e inorgánicos de manera significativa y por debajo del valor máximo permisible.

Ayala (2018) en su tesis: “Influencia de la dosificación de Hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de la quebrada Mesa de Plata Hualgayoc – 2018”, Cajamarca, Perú, Universidad Privada del Norte, tuvo como **objetivo** establecer el influjo de la dosificación de Hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de la quebrada mesa de plata. La **metodología** principal utilizados son la medición de flujo y las pruebas de tanques, el muestreo periódico y la valoración de la calidad del agua caracterizada por datos de campo y laboratorio. El Hidróxido de calcio es útil para experimentos que extienden la rotación de la unidad de prueba del matraz a 1000, 800, 600 y 400 rpm. Luego se realizó el experimento sobre la muestra 1 con agitación a 1000 rpm por 30 min, se agregó 1 g de cal viva y se dejó reposar por 30 min; muestra 2 a 800 rpm, mezclar 25 min, calorías 0,75 g y reposar 30 min; muestra 3 a 600 rpm, mezclar durante 20 min, agregar 0,05 g de cal y dejar actuar durante 30 min; muestra 4 a 400 rpm, agitar durante 15 min, 0 g de cal viva, dejar reposar durante 30 min, probar la muestra en 2 litros de agua,

teniendo como mejor **resultado** 0,75 g de cal / 2 litros, porque esta medida después de la filtración te permite ajustar los parámetros del agua a 8,09 eu, eliminando las sustancias inorgánicas Aluminio 89%, Arsenico 71%, Cadmio 98%, Hierro 99%, Mg 87%, Mn 99%, Sodio 14%, Plomo 89%, Tl 60%, Zinc 98%, de acuerdo a lo establecido en el D.S N° 004-2017 - MINAM en la Categoría 3 - Bebidas para Animales .Se **concluyó** que el Hidróxido de calcio es efectivo en el tratamiento de aguas ácidas como neutralizador de la Quebrada Mesa de Plata.

Aguirre y Huamán (2019) en su tesis: “Eficiencia del tratamiento del drenaje ácido de mina en la bocamina prosperidad con método químico empleando Hidróxido de calcio a nivel de laboratorio”, Cajamarca, Perú, Universidad Privada del Norte, Tuvo como **objetivo** determinar la efectividad del tratamiento ácido de mina en la desembocadura del río Prosperidad por método químico utilizando Hidróxido de calcio a nivel de laboratorio. La **metodología** fue experimental, en el que el método químico utilizado fue cal viva, que es el resultado del proceso de neutralización y precipitación de metales pesados en la lechada de cal al 10%, en el experimento da resultados positivos y puede producir agua potable de buena calidad. (D.S. N° 010-2010-MINAM), teniendo como **resultados** “Alta remoción de metales pesados (superior al 95% a pH 10.5) **concluyó** que, dado que la neutralización se hace con cal, el inconveniente de este tratamiento es la presencia de iones de calcio en el precipitado, los cuales deben ser separados y recogidos en un lugar adecuado para su Reutilización”.

Medina (2018) en su tesis: “Diseño y operatividad de la planta de neutralización de aguas ácidas de mina, Paragsha Cerro de Pasco en minero Volcan S.A.A. - Universidad Nacional de San Agustín”, tuvo como **objetivo** ejecutar una propuesta para el tratamiento del pasivo ambiental de la laguna Quilacocha el cual posee un pH bastante bajo y con altos elementos presentes como Cu, Pb, Zn y Fe, la **metodología** que aplico fue el tratamiento de neutralización. Conforme a los **resultados** obtenidos en el laboratorio permiten reducir casi todos los elementos contenidos en las aguas residuales, a excepción del plomo, que supera el límite máximo

permisible, se **concluyó** que la empresa debe invertir en una instalación más, ya que la planta de tratamiento de aguas, no puede retener durante toda su vida el agua ácida de Quiulacocha que sube y baja al río San Juan, provocando una grave contaminación. El río Juan, que eventualmente desemboca en Mantaro, afecta a las personas, la ganadería y la agricultura.

2.1.3. Antecedentes locales

Basilio (2015) en su tesis: "Influencia de la acidez en la remoción de plomo (Pb) utilizando dolomita como adsorbente -Tingo María, Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva", cuyo **objetivo** fue evaluar el efecto de la acidez en la remoción de Pb usando dolomita natural como adsorbente a escala de laboratorio. "La **metodología** fue experimental (sistema de columna) y contiene cuatro volúmenes iguales (20 µl) de dolomita unida a una concentración constante de 50 ppm Pb₂, aunque utiliza cuatro rangos de pH diferentes en cada V . Se desarrolló una configuración de prueba con 3 repeticiones y 3 procesadores, que tomó 96 horas, antes de que el agua contaminada corriera por el sistema. De acuerdo a los **resultados** conseguidos, la concentración de Pb₂ se redujo de 50 ppm a 2893 ppm, logrando el 94,21% de remoción encontrado en el 1 tratamiento (A1). La alcalinidad de la dolomita eleva el pH del agua ácida de 1,5 a 8,11 y también hace que el potencial de oxidación (Eh) disminuya de un agente oxidante a un agente menos oxidante, se **concluyó** que la acidez afecta la eliminación del plomo (Pb₂), la acidez óptima es de 1,5 a 3,5 pH y se logra utilizar como absorbente de plomo a la dolomita debido al alto contenido de plomo en las minas ácidas.

Martinez (2019) en su tesis: "Influencia del peso de Óxido de titanio en la remoción de mercurio divalente en un fotocatalizador de placas planas inclinadas, Tingo María, Perú ,Universidad Nacional Agraria de la Selva", tuvo como **objetivo** establecer el influjo del peso del Óxido de titanio en la remoción de mercurio divalente en un fotocatalizador de placas planas inclinadas, Su **metodología** fue experimental, utilizando tres concentraciones iniciales diferentes de mercurio 0,02 mg/L, 0,2 mg/L

y 2 mg/L, con 2 pesos distintos de dióxido de titanio catalizado ópticamente; Estas variables están ordenadas en base a la verdad, dando 9 tratamientos, cada uno con 3 repeticiones. Los procedimientos anteriores se realizaron en el reactor de plano inclinado a escala de laboratorio. Los **resultados** obtenidos nos permiten saber que la tasa de reducción de mercurio divalente es de 50 gr de Óxido de titanio, seguido de 25 gr y finalmente 100 gr. Se **concluyó** que la tasa de remoción se ve afectada por la cantidad de Óxido de titanio, por lo que el efecto del coeficiente de acidez y conductividad es inversamente proporcional a la vez que la temperatura es una relación directa, siendo el tratamiento el de mayor tasa de remoción, los que trabajan con 50 g. de Óxido de titanio.

Minger (2020) en su tesis: “Biorremoción de Pb en soluciones acuosas mediadas por microalgas a escala de laboratorio, Tingo María, Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva”, tuvo como **objetivo** valorar el nivel de biorremoción de Pb en medios acuosos mediadas por microalgas a escala laboratorio, La **metodología** fue experimental, y se evaluó el tiempo de resistencia y bioactividad de las microalgas, ensayándolas a distintas concentraciones de 10 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L y 200 mg/L, en una columna de fotobiorreactor con un volumen útil. De los 570 ml se estableció la resistencia al metal, fue evaluado el crecimiento en 3 días durante 15 días por conteo en cámara Newbauer. De acuerdo a los **resultados** de determinar el nivel de contaminación biológica en un sistema de fotobiorreactor vertical con una eficiencia de 94,72% a los 10 días, se **concluyó** que es un método eficaz y económico para el tratamiento biológico de aguas contaminadas con minerales.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Neutralización – Precipitación Química

Medina (2018) Afirma que, “son métodos populares por su bajo costo y facilidad de operación y mantenimiento, estos métodos van desde humedales construidos, canales anaeróbicos, estanques orgánicos y sistemas de producción alcalina incluso barreras reactivas con el propósito de eliminar ácidos, precipitar minerales fuertes y eliminar la

contaminación como sólidos persistentes, antimonio, arseniato y otros”. Generalmente, en estos sistemas, las bacterias se utilizan para catalizar reacciones y acelerar la formación de precipitados, así como utilizar materiales alcalinos para neutralizar la acidez (aumento del pH).

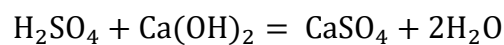
- **Tratamiento químico activo de drenajes ácidos**

Según Aduvire (2006), Especifica que, “estos incluyen la adición de álcali, comúnmente cal viva, cal apagada, piedra caliza triturada, soda cáustica, carbonato de sodio o agua amoniacal para neutralizar ácidos y facilitar la precipitación del metal pesado. Los minerales precipitan como hidróxidos insolubles en un rango de pH 8,5 a 10. El manganeso se convierte insoluble a pH 8,5. El aluminio precipita del agua a pH 5,5 pero se disuelve por encima de pH 8,5. Por estos motivos, se seleccionará el tratamiento químico más adecuado en función del tipo de minerales y su concentración en el agua ácida.

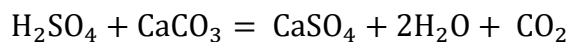
Aduvire (2006) señala que el tratamiento químico se lleva a cabo en 3 etapas: “neutralización, oxidación y precipitación”. Las principales reacciones que ocurren dependiendo del tipo de agente alcalino utilizado son:

Primera: Neutralización del ácido con base

Utilizando Cal:



Utilizando Caliza:



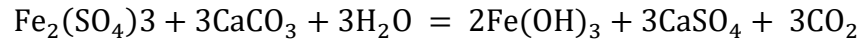
Segunda: Oxidación del hierro ferroso o férrico

Esto se hace extrayendo oxígeno moviendo el agua en el tanque. Esto puede cambiar el estado del hierro y hacerlo insoluble.

Tercera: Precipitación de los hidróxidos de hierro

Los hidróxidos se forman por la reacción del sulfato férrico con los agentes alcalinos.

Utilizando cal:



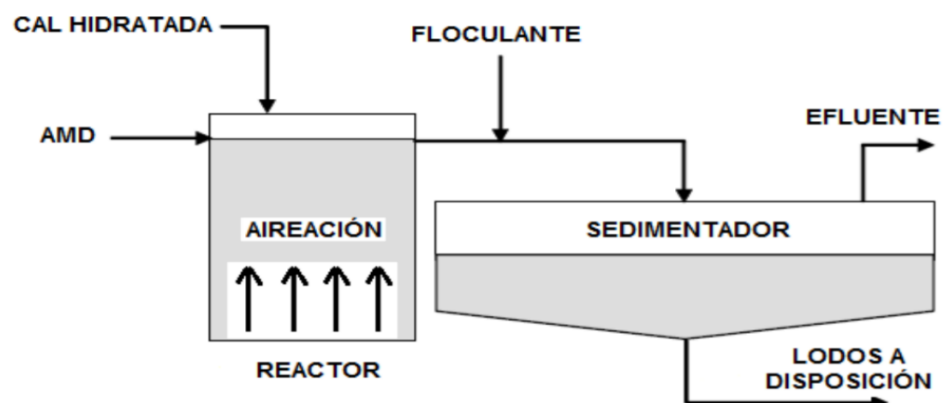
La solubilidad de los iones de hierro disminuye y se acumula, aumentando el pH del agua, la precipitación de metales pesados se verá mejorada por la adición de varios compuestos químicos y polímeros. Soluble en agua y favorece la coagulación y la floculación.

- **Tratamiento de aguas acidas con cal:**

Aduvire (2006) menciona que, “la cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se usa comúnmente y es útil para manejar extensos flujos en condiciones muy ácidas. En el momento en que es necesario retirar el hierro, se introduce en el propio proceso productivo la aireación que se necesita para realizar la oxidación del hierro ferroso (Fe^{+2}) hasta convertirlo en hierro (Fe^{+3}) y tener la más grande capacidad reductora”. El lodo resultante contiene grandes cantidades de sulfato de calcio (CaSO_4), que se puede bombear desde el sumidero a un tanque de almacenamiento o también, se puede dirigir el agua a un filtro prensa para procesar más cantidad de sólidos.

Figura 1

Proceso de neutralización – precipitación química con Cal hidratada convencional.



Fuente: R. Espinosa et al. (2016)

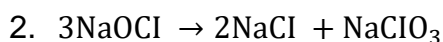
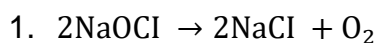
- **Tratamiento de aguas acidas con Hipoclorito de Sodio:**

Según Calderon (2014) , afirma que el uso de hipoclorito de sodio para tratar los residuos de cianuro concentrado es muy efectivo (reduce varios miles de ppm a menos de 100 ppm). La tasa de remoción de cianuro con hipoclorito de sodio varía de algunas horas a algunos minutos, dependiendo de la naturaleza del cianuro (si es complejo o libre), las condiciones de procesamiento (pH y temperatura), la presencia de otros componentes en el agua, residuos.

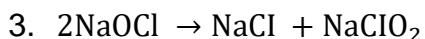
También Alexander (2005) , recomienda determinar la dosis óptima y la duración óptima de la desinfección del hipoclorito de sodio, se deben tener en cuenta ciertas características de las aguas residuales, tales como:

- a) Tamaño, distribución y concentración de la SCT.
- b) La naturaleza, número y distribución de los organismos vivos en el líquido.
- c) Componentes químicos que pueden reaccionar con desinfectantes.

Las soluciones de Hipoclorito de sodio se dividen en 2 métodos : Cloruro de Sodio y oxígeno (reacción 1), o por desigualdad a cloruro de Sodio y NaClO_3 (R2).



En estas 2 reacciones se forman el clorito de Sodio (R3) y entre el hipoclorito y el clorito (R4).

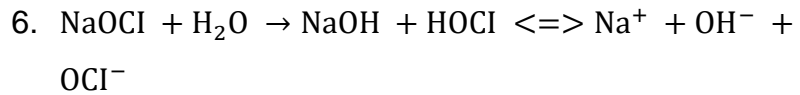


El Hipoclorito de sodio también reacciona con el ácido hipocloroso (R5).



La ecuación mencionada se utiliza para medios ácidos.

Produce un balance dinámico, que se explica en la ecuación.



El Hipoclorito de sodio actúa como un solvente de materia orgánica en especial de ácidos grasos (jabón) y glicerol, que reducen la tensión superficial de la solución. Además, el hipoclorito de sodio neutraliza los aminoácidos, provocando agua y sales. Con la reducción de iones hidroxilo (OH^-) mediante la formación de agua, se logra reducir el pH, estimulando la presencia de ácido hipocloroso que en contacto con componentes orgánicos actúa como solvente, libera Cloro que se combina con el grupo amino de las proteínas, formando cloroaminas. El ácido hipocloroso y los iones de hipoclorito (OCl^-) conducen a la hidrólisis de los aminoácidos.

Skousen et al. (2002) Mencionó que, “se emplean 6 productos químicos para manejar la secreción ácida. Tabla 1 Cada químico es algo apropiado para una situación particular. La opción correcta está sujeta al aspecto técnico (nivel de ácido, caudal, tipo y concentración del mineral) como económico (precio de los químicos, manufactura, máquinas, equipo, tiempo) y tasas de manejo y recuperación). Debe agregarse bastante alcalinidad para alzar el pH a 6-9 para que se formen y sedimenten los hidróxidos metálicos insolubles”.

Según Skousenn et al. (2002) clasifican a los componentes químicos usados para el tratamiento neutralización - precipitación química de la siguiente manera.

Tabla 1

Compuesto químico utilizado en el tratamiento neutralización - precipitación química de drenajes ácidos.

Nombre	Nombre Químico	Formula	Neutralización
Caliza	Carbonato de Calcio	CaCO ₃	30 %
Cal Hidratada	Hidróxido de Calcio	Ca (OH) ₂	90 %
Cal viva	Óxido de Calcio	CaO	90 %
Ceniza de Soda	Carbonato de Sodio	Na ₂ CO ₃	60 %
Soda Caustica	Hidróxido de sodio	NaOH	100 %
Amoniaco	Anhídrido de amoniaco	NH ₃	100 %

Nota: Skousen et al.(2002)

Por otra parte Aduvire (2006) clasifica a los agentes que se usan para la anulación de metales pesados por precipitación , también las beneficios y desventajas de los agentes.

Tabla 2

Componentes empleados para la remoción de iones metálicos pesados por precipitación.

VENTAJAS	INCONVENIENTES	COMPONENTE DE PRECIPITACIÓN
Bajo costo	“Impurezas, proceso lento Precipita CaSO ₄ , CaCO ₃ ”	Hidróxido cálcico
Soluble. Rápido	Costo superior	Carbonato sódico
Limpio. Rápido	Costo relativamente alto	Hidróxido sódico
Soluble. Rápido	Formación de complejos, nitrato amónico residual	Amoniaco
Productos muy insolubles	Desprende H ₂ S	Sulfuro sódico
Rápido. Bajo costo	Precipita CaSO ₄	Ácido sulfúrico
Rápido. Limpio	Costo relativamente alto	Ácido clorhídrico
Disponibles gases combustibles	-	Dióxido de carbono

Nota: Aduvire (2006)

Los autores Nordstrom y Alpers (1999) explican los bienes y las pérdidas que tiene el tratamiento químico activo de drenajes ácidos.

Beneficia:

- La planta requiere poco espacio, ocupando un espacio limitado.
- Si hay cambios no deseados en la calidad y el flujo del agua, estos cambios pueden compensarse a través de un ajuste comparativamente simple de los parámetros operativos.
- El método no se ve perjudicado por la T y se mantiene el efecto en invierno.
- Es eficiente para tratar aguas muy ácidas.

Las desventajas son:

- Es alto el sostenimiento del equipo.
- El lodo extraído es químicamente inestable y parcialmente soluble si se expone a un entorno bastante ácido (a veces alcalino).
- El tratamiento de lodos de depuradora es difícil y costoso y requiere algún tipo de deshidratación antes de su eliminación.

2.2.2. Metales pesados en aguas acidas

• **Definición de Metales pesados**

Chapman et al. (2003) Señala que los minerales de la corteza terrestre son componentes naturales. No obstante, aparecieron las actividades industriales, agrícolas, mineras y ganadera que son actividades generadas por el hombre.

Por otro lado Cornelis y Nordberg (2007) indican que una posible definición de un metal depende de la densidad: "Un metal pesado es un metal con una densidad tal que la definición de un metal se puede definir en función de la densidad: "Un metal pesado es un tipo con una densidad > 5 g/cm³". No obstante, esta definición es inútil en relación con el estudio de los efectos tóxicos de ciertos

metales en el medio ambiente y los organismos vivos, por lo que otra definición de metal pesado es "un grupo de metales o minerales potencialmente contaminantes y tóxicos".

Bengtsson et al. (2006) mencionan que algunos metales pesados son importantes para los organismos porque son elementos básicos de su función bioquímica y fisiológica, apareciendo como oligoelementos que necesita para el sostenimiento del sistema bioquímico del organismo, como el Cu, Mn o el zinc, que son básicos para el metabolismo.

Metales pesados y su impacto sobre el medio ambiente

La contaminación ambiental por aguas residuales industriales ha exacerbado la degradación ambiental, y entre los compuestos más preocupantes que se hallan en las aguas residuales se encuentran los metales tóxicos, los cuales son dañinos para el ambiente y la salud del hombre, por su alta capacidad de bioacumulación y tiempo de residencia. "lo que menciona la lista de contaminantes prioritarios hecho por la Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (USEPA), tales metales tóxicos son: As, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, Ti, Se y Pb. El Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ATSDR) enumera el plomo, el mercurio, el arsénico⁷ y el cadmio como los más peligrosos".

"El Ministerio del Medio Ambiente, indica que en el Perú la pérdida de la calidad del agua se debe a las aguas residuales domésticas e industriales (minas, agroquímicos) que allí se vierten, las cuales contienen residuos químicos de actividades ilegales, que son filtrados. Esto es un inconveniente cada vez más grave puesto que perjudica la calidad de muchos ríos como el Madre de Dios, Rímac, Mantaro, Cajamarca, Espinar (Cusco), Santa, Chira y Chile". (Antonio Brack et al., 2014).

Según Bianchini y Grassi (2018) mencionan los impactos ambientales de los metales pesados.

- **El Cobre**

Este mineral no se degrada en el medio ambiente, se acumulan en las plantas y animales mientras están en el suelo. En áreas ricas en cobre, solo unos pocos tipos de plantas pueden sobrevivir.

- **El Zinc**

“Este mineral es un problema para las plantas y la ganadería. Las plantas que contienen niveles de Zn en sus sistemas no pueden ser manejados debido a que el suelo también contiene Zn. Solo algunos tipos de plantas pueden sobrevivir en suelos ricos de Zn”.

- **Plomo**

Este se almacena en organismos acuáticos y terrestres impactando por envenenamiento de plomo a la salud. Los efectos sobre la salud de los mariscos pueden ocurrir incluso con niveles bajos de plomo. El Pb es un elemento químico especialmente dañino y consigue acumularse en los seres vivos, aunque también puede entrar en la cadena alimentaria y afectar a los seres humanos.

- **Hierro**

En demasiadas concentraciones, el hierro puede perjudicial para la respiración de los peces y, así perturbar toda la cadena alimentaria.

Metales Pesados en Aguas Acidas

Aduvire (2006) , afirma que dependiendo de la naturaleza de los escombros y depósitos de roca, este DAM sujetará altos niveles de metales pesados.

La descarga ácida de la mina a menudo contiene altas concentraciones de sulfato y minerales disueltos, como cobre, arsénico, cadmio y zinc, y en algunos casos grandes cantidades de

sólidos en suspensión. Asimismo, este problema logra persistir a lo largo de décadas, hasta cientos de años, cuando termina el ciclo de producción de la mina, esto es una de las fuentes más grandes de contaminación de aguas superficiales y subterráneas en el mundo.

Por otra parte Romero et al, (2008), dice que “la contaminación del agua por parte de los efluentes ácidos de las minas ocurre cuando estos desembocan en los ríos, lo que hace que los metales se dispersen ampliamente tanto en solución como (después de la adsorción) como partículas. Cuando se liberan a la atmósfera o en los canales, eventualmente se convierten en contaminantes difusos en el suelo y los sedimentos. Debido al desarrollo de actividades mineras se origina la contaminación del medio físico, se cuenta y regula la normativa ambiental adaptable, tales como: Ley de Aguas Compartidas (DS 17552) y Resolución Ministerial N° 1. 011-96-EM /VNM del Ministerio de Energía y Minerales, donde se especifica el nivel máximo aceptable de efluente de operaciones mineras”.

Remoción de metales pesados

Lo que menciona el *Manual de usos ecológicos de la cal.* (2002) Es una amplia gama de metales pesados que incluyen arsénico, bario, cadmio, cromo, flúor, plomo, mercurio, plata y otros que se pueden eliminar del agua potable aumentando el pH (6-11) según el metal en cuestión. “Los pasos del tratamiento incluyen agitación, floculación, sedimentación y filtración. Como se ha mencionado, se produce un aumento del pH al ablandar con cal o carbonato y/o coagular con sulfato de aluminio o sales de hierro con ayuda de la cal”. El mecanismo de remoción de contaminantes inorgánicos puede ser: precipitación de hidróxidos metálicos insolubles, carbonización, coprecipitación con hidróxido de hierro o aluminio o absorción con turbidez natural (grumos) formados durante el proceso. La frecuencia es químicamente similar al calcio y al bario, se eliminan durante el ablandamiento con cal pero no durante la

coagulación. En general, cuanto mayor sea el pH en el proceso de desalinización, más radio se eliminará.

- **Aguas Acidas**

Definición de Agua

La WHO (2021) El agua se considera fundamental para la vida. “El porcentaje de agua dulce en la Tierra es bajo y su calidad esta bajo presión constante. La calidad del agua se ve afectada por el incremento de agentes infecciosos por ello es importante cuidar la calidad del agua para el abastecimiento de agua potable, la producción de cultivos y el uso recreacional”.

Definición de Aguas Acidas

Según Ramírez (2013) considera que las aguas ácidas son soluciones sulfúricas, con elevado contenido en minerales y pH inferior a siete. Estas pueden se conformarse en el interior igual que en la superficie, por oxidación de piritas, los sistemas hidráulicos pueden pasar a la clandestinidad, contaminar los acuíferos o las aguas residuales fluir hacia las aguas superficiales.

De igual manera López et al. (2002) Describió como causa fundamental de la creación de agua acida a la oxidación de la pirita; Esta oxidación se da en las áreas mineras por la fácil exposición del aire a los sulfuros a través de los procesos de acceso a la mina, los vacíos en las rocas de relave y las pilas de desechos, así como a una mayor superficie de contacto con las partículas.

- **Drenaje Ácido de Roca (DAR)**

Según la Guía Ambiental para “el manejo de DAM MINEM (s/f), El DAR es la consecuencia de la oxidación de los minerales de sulfuro y la lixiviación de los minerales asociados, por lo que las rocas de sulfuro cuando se exponen al aire y al agua adquieren un color rojo característico debido a la presencia de minerales de sulfuro”. El desarrollo de “DAR” “es un proceso dependiente del tiempo que

incluye oxidación química y biológica, así como fenómenos físicos y químicos relacionados, incluida la precipitación y la encapsulación. Con el tiempo, pueden cambiar las propiedades de drenaje, de ligeramente alcalinas a casi neutras y eventualmente ácidas”.

Drenaje de Acido de Minas (DAM)

Según Aduvire (2007), El vertido ácido de mina (DAM) resulta de la oxidación de algunos minerales sulfurados (pirita, pirotina, etc.) cuando entran en contacto con el oxígeno y el agua.

De igual manera estos autores nos dicen que Villas y Page (2002), el Drenaje de Acido de Minas (DAM) puede ocurrir cuando la minería revela desechos, relaves u operaciones mineras que contienen trazas de sulfuros reactivos. La exposición de estos sulfuros reactivos al oxígeno y al agua puede conducir a la producción de ácido.

También Aduvire (2006) dice que los DAM además de su bajo pH , también contiene grandes cantidades de sólidos en suspensión con elevadas concentraciones de sulfatos y minerales (Hierro, Al, Manganeso, Zinc, Cobre, Pb, Hg, Cd, Ni) del orden de varios cientos de mg/L. Los drenajes son tóxicos para los humanos, la vida silvestre y las plantas, contienen minerales solubles y componentes orgánicos solubles e insolubles, y a menudo son generados por la minería, la minería, el centro de minerales, las represas de minerales y los desechos mineros. Hay informes de fallecimientos de ganado, destrucción de cultivos y riberas, así como el color y turbidez de las aguas de ríos y lagos.

Composición de los Drenajes Ácidos de Minas

Según el Ministerio de Energía y Minas MINEM (s/f), La Guía ambiental para la gestión de drenaje ácido en las minas peruanas establece que "la preocupación principal serían los altos niveles de ácidos, sulfatos, hierro, cobre y la lixiviación de otros minerales

asociados con los minerales sulfurados". Por lo general, los drenajes ácidos pueden estar compuesto por:

- Sulfatos.
- Nutrientes.
- Metales.
- Radiactivos.
- Sólidos disueltos totales (SDT).
- Sólidos suspendidos totales (SST).

Los drenajes ácidos se caracterizan por:

- Acidez de sus aguas (menor a 7 hasta 1.5 de pH).
- La alcalinidad suele disminuir y su grado de acidez incrementarse.
- Concentraciones elevadas de sulfato.
- Concentraciones elevadas de metales (sean disueltos o totales)
- Concentraciones elevadas de sólidos disueltos totales.

Tabla 3

Características física y químicas del drenaje ácido de mina.

Propiedades	Componentes Químicos Típicos Asociados	Intervalo de Concentración	Impacto
Acidez	Ácido Sulfúrico	2.0 – 4.0 (pH)	Movilizan los iones metálicos.
Hierro	"Iones Ferroso y Férrico, óxido férrico, Hidróxidos".	"100 – 3000 (mg/L)"	Palidez y turbidez de las aguas. Aumento del pH, precipitación de Hierro.
Metales Pesados	"Cobre, Mg, Zinc, Cadmio, Hg, Pb, As"	"1 – 200 (mg/L)"	Reducen la flora y fauna acuática, bio –acumulan y reducen la calidad y abastecimiento de agua potable.
Sólidos Totales	Ca, Mn, Al, SO_4	"100 -30 000 (mg/L)"	Reducen la calidad de agua en el abastecimiento.

Nota: López et al. (2001)

Categorías de Drenajes Ácidos de Mina

Aduvire (2006) afirma que “para establecer el tipo de drenaje, es necesario realizar un análisis completo de las condiciones físicas del entorno, el clima local y la calidad de las aguas residuales mineras. Para esto se toman muestras de agua y sedimentos para analizar en el laboratorio y establecer la concentración de metales presentes, también se utilizan mediciones in situ de parámetros como: pH, contenido de oxígeno, potencial redox, conductividad eléctrica, T, Fe, acidez/alcalinidad, turbidez y otros. Independientemente de la fuente de descarga de la mina”, se agrupan en 2 grupos:

- Drenajes alcalinos con inferior potencial de solubilización.
- Drenajes ácidos con valioso potencial de solubilización.

Kim y Kim (2003) , realiza una clasificación de las aguas residuales de mina según el pH y los agrupa en 6 categorías:

Tabla 4

Clasificación de las aguas residuales de mina en función al pH.

Tipo o Clase	pH
Altamente ácidos	1,5 - 4,5
“Blandos, ligeramente ácidos”	5,0 -7,0
“Duros, neutros a alcalinos”	7,0 - 8,5
“Blandos, alcalinos”	7,5 -11,0
“Muy salinos”	6,0 - 9,0
“Blandos ácidos”	3,5 - 5,5

Nota: Kim y Kim (2003)

Por otro lado Aduvire (2006) menciona que asumiendo que el pH del sistema de drenaje y el contenido de minerales o sales contenidas en el mismo, se pueden clasificar en cuatro categorías:

Tabla 5

En función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales

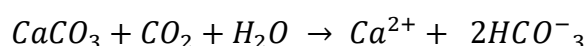
CLASE	pH	DESCRIPCIÓN
Ácidos	Menor a 6	La acidez es creada por la oxidación del mineral, especialmente de sulfuros. En drenajes casi neutros es mayor los niveles de metales disueltos. Asociado a minas de metal, carbón y pirita.
Alcalinos	Menor a 9 ó 10	La alta alcalinidad se produce de la disolución del mineral base, especialmente óxidos, hidróxidos y los silicatos. Los niveles de metales como el aluminio son más altos en el drenaje casi neutral. Relacionado a la extracción de diamante, trituración de bauxita, ceniza de carbón.
Casi neutro	6 – 9 o 10	Puede ser casi neutros según la cantidad de minerales. -Las concentraciones de metales disueltos a veces pueden rebasar los niveles peligrosos.

Nota: Aduvire (2006)

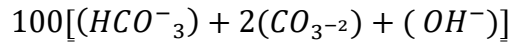
Drenajes alcalinos

Aduvire (2006) manifiesta que el agua alcalina en las operaciones mineras ocurre cuando el agua que se filtra desde la superficie o debajo de los acuíferos fluye por medio de materiales de roca caliza y dolomítica.

La disolución del carbonato de calcio se crea como resultado del CO₂ en el agua y lo cual da la siguiente reacción:



El contenido de iones bicarbonato dentro del agua es lo que caracteriza su alcalinidad, y la alcalinidad es medida en mg/l y son evaluados por medio de la siguiente expresión:



Drenaje Ácido

Desde el punto de vista de Nordstrom y Alpers (1999) “describe la oxidación de la pirita por la fundamental causa de la formación de agua ácida y afirma que en las zonas mineras se aceleran las reacciones geoquímicas porque el aire está más expuesto a los sulfuros por contacto con las obras y se producen porosidad en pilas estériles y asépticas, así como una transformación de composición química y un aumento en la superficie que contacta con las partículas. De igual forma muestran que cada proceso sea físico, químico y biológico mantienen una inmensa influencia en la formación, degradación y movilidad de los contaminantes ácidos en el agua, los factores influyen más en la formación de ácidos” son, la cantidad, concentración, tamaño y distribución de las partículas de la pirita. El agua de drenaje tiende a ser ácida cuando existe minerales ácidos en mayor proporción que los minerales alcalinos, lo que contendría altas concentraciones de Hierro, Mn, Aluminio y otros iones, puede tener o no tener un pH bajo, pero la presencia de hierro, aluminio soluble y Mn puede producir iones hidrogeno a través de la hidrólisis (altas concentraciones de iones Hidrogeno) y un pH más bajo”.

Por tanto Aduvire (2006), establece que el drenaje de los ambientes mineros puede ser ácido o alcalino, lo que puede degradar los hábitats acuáticos y cambiar la calidad del agua por causa de la toxicidad, la corrosión y demás efectos resultantes de la disolución de sus componentes. “Suelen tener un valor de pH de 2 a 9, incluyen cationes y aniones en solución, principalmente alta concentración de óxido de azufre, Hierro, Mn y Aluminio, y en menor medida Calcio, Sodio, Potasio, Magnesio y demás elementos”.

Tabla 6

Clasificación de los drenajes de mina partir del pH y el contenido de oxígeno y metales pesados y lo agrupan en 5 tipos.

TIPO	pH	DESCRIPCIÓN
"I"	"< 4,5"	Altas concentraciones de Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb y otros metales. Además de ser rico en oxígeno. Muy ácido (conocido como drenaje ácido de mina)"
"II"	"< 6,0"	Alta cantidades de sólidos disueltos. La concentración de iones negros (Fe ²⁺) y Mn es alta. Bajo en oxígeno. Debido a la oxidación, el pH del agua baja radicalmente hasta su conversión a Tipo I.
"III"	"> 6,0"	Los sólidos disueltos son moderados a alta. El contenido de iones negros (Fe ²⁺) y Mn es de bajo a moderado". "Bajo contenido de oxígeno. Alcalinidad elevada (llamado Drenaje Alcalino de Mina). Debido a la oxidación del metal, la acidez resultante es neutralizada por la alcalinidad del agua.
"IV"	"> 6,0"	Alta cantidad de partículas disueltos. Drenaje neutralizado, pero los hidróxidos aún no se fijan en el agua. Cuando el tiempo de residencia en las balsas sea mayor, mayor será la cohesión de las partículas y el agua llegaría a ser similar al Tipo V.
"V"	"> 6,0"	Agua del drenaje se neutraliza. Grandes cantidades de sólidos disueltos. Gran cantidad de hidróxidos precipitados y fijados en las balsas. El Ca y Mn disuelven los cationes restantes. Los oxi-aniones disueltos, como el bicarbonato y el sulfato, permanecen en solución.

Nota: Skousen et al. (2002).

- **Etapas de Formación del DAM**

Las etapas que involucran la generación de DAM son:

Aduvire (2006) señala que "El primer paso en la oxidación del metal libera sulfuro negro en condición neutro, lo cual se oxida químicamente y se convierte en hierro férrico, y precipitándose como hidróxido y contribuye a la acidez del medio. Tal etapa del proceso, la tasa de oxidación es mínima tanto en la acidogénesis (directa como indirecta), la formación de agua ácida por oxidación por aire y actividad bacteriana (principalmente *Thiobacillus ferrooxidans*) se

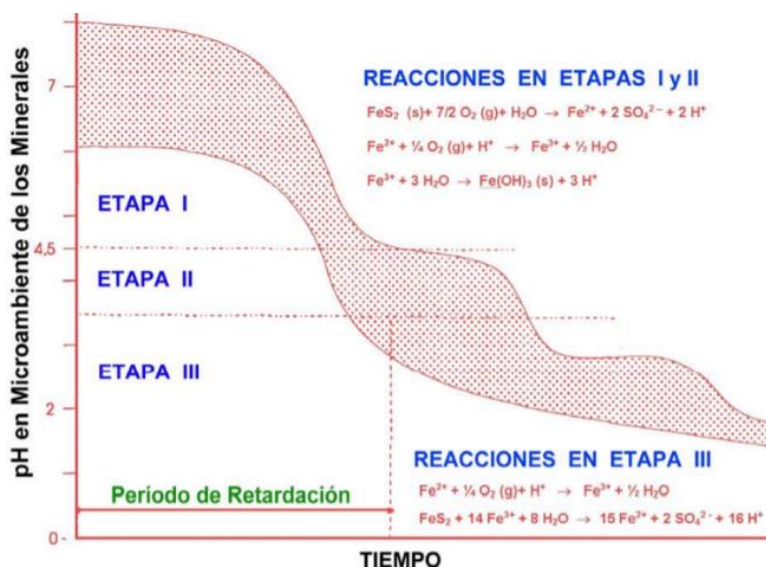
produjo a una tasa similar. Normalmente, la alcalinidad disponible en el medio será suficiente en la neutralización parcial de la acidez que se desarrolla lenta”.

Segunda etapa. “La acidez que se acumula superó la capacidad neutralizante del medio, el pH disminuye y predominó la oxidación de la pirita por la acción de bacterias. De tal reacción el producto es $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, que al volver a oxidarse se convierte en sulfato ferroso, y al contacto con el agua produce ácido sulfúrico además de hidróxido férrico, que son insolubles y provocan un color amarillo en el agua. En esta etapa, la eficiencia del mecanismo directo (oxidación por aire) disminuye y el mecanismo indirecto incrementa significativamente”.

Tercera etapa: “El pH cae por debajo de tres cerca de las partículas de pirita (alrededor de 0,5 de agua), el ion de hierro es afectado por las reacciones redox y la actividad bacteriana llevaría al proceso de lixiviado el sulfuro de hierro. En este paso, la acidogénesis cambia a medida que la solubilidad de Fe aumenta y precipitar el hidróxido férrico disminuye. Es decir, *Thiobacillus ferrooxidans* oxida iones de hierro a hierro, por lo que oxidará el sulfuro (pirita) para producir más ácido”.

Figura 2

Etapas en la formación de aguas ácidas



Fuente: Aduvire (2006).

- **Control del drenaje ácido de minas**

Broughton (1995) afirma que, “estas medidas se emplean para compendiar la consecución del drenaje ofensivo y minimizar su trastazo sobre el entorno ambiente. Según la formación del drenaje ácido varía la técnica aplicada”.

Los métodos para controlar el drenaje de minas se clasifican en 3 categorías:

Control Primario o Método preventivo

Aduvire (2006) describe que, “su indiferente es estancar o transcribir en definitiva el apresuramiento de la suscitación de ácido. Esto se puede hacer bloqueando el límite de azufre con el líquido de infusión o el aire puede ser incluso ambos, con esto se eliminan las bacterias que se responsabilizan de catalizar las reacciones, o el control de otros factores que afectan la reacción, como el pH, mediante la adición de álcalis”.

Tabla 7*Metodologías preventivas de formación de Drenaje Ácido de Mina.*

METODOLOGÍA	OBJETIVOS	MEDIDA DE CONTROL
Barrera	Eliminar o aislar los sulfuros	Acondicionamiento, impermeabilización y deposito selectivo de estériles y residuos. Micro-encapsulado Retiro físico de sulfuros. Reforestación de terrenos.
	Excluir del agua	Cunetas para desvió del agua. Remodelado de superficie. Recubrimiento y sellado.
	Excluir del Oxígeno	Almacenes subacuáticos (de inundación). Recubrimiento y sellado.
Químico	Control de pH	Añadido de materiales alcalinos y fosfatos.
	Control y supresión de la acción bacteriana.	Uso de dispositivos rellenos con materiales carbonatados. Mezcla de los materiales acido/base y vertido selectivo.
Inhibición bacteriana	Control y supresión de la acción bacteriana.	Uso de bactericidas. Añadido de fosfatos.

Nota: Chambe (2008).

Control secundario o Método de Contención

Broughton (1995) describe que este método apoya a prevenir y minimizar el movimiento del drenaje ácido hacia el medio ambiente, así como el desagüe e infiltrado de agua superficial.

Control terciario o Método de remediación

Lo constituye el tercer nivel de control y su finalidad es la recolección y tratamiento.

- **Sistemas de tratamiento activo:**

Inga (2012) precisa que este proceso “incluye la neutralización de las aguas residuales ácidas de las operaciones

mineras y se aprovecha mediante la adición de sustancias alcalinas como soda cáustica, cal, caliza y carbonato de sodio, los que sirven por coagulantes inorgánicos e orgánicos, obtenidos del agua tratada en cumplimiento con los estándares de la legislación nacional y de lodos de composición química altamente estable”.

Tabla 8

Ventajas y desventajas de un tratamiento activo.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
-Es efectivo para la remover metales en altas concentraciones.	-Altos costos de inversión y operación debido a los reactivos químicos y la aireación.
- Alta densidad de lodos.	
- Alta densidad de lodos.	-Genera muchos lodos
-Tratamiento eficaz para caudales elevados y acidez alta.	
-También se utiliza para bajos caudales.	-

Nota: Inga (2012)

- **Sistemas de tratamiento pasivo:**

Según Inga (2012) menciona que, “los sistemas pasivos son aplicables ya que tienden a responder mejor al análisis de costo/beneficio desde el punto de vista de la economía y ambiental. Entonces, la llamada tecnología pasiva utiliza procesos químicos y biológicos naturales para mejorar la calidad del agua. El tratamiento pasivo no necesita reactivos químicos y poco o ningún proceso de para mantenerlo.

Aduvire (2006) considera que, “la intervención humana es mínima, como es el caso de los humedales, los sistemas de producción alcalina, y otros. Los objetivos más importantes del tratamiento de aguas ácidas son eliminar la acidez, precipitar los metales pesados y eliminar los contaminantes que son sólidos suspendidos, arseniatos, antimonio entre otros”.

Problemática de las Aguas Acidas de Mina

Kefeni et al. (2017) manifiesta que los AMD es considerado uno de los impactos ambientales más severos que enfrenta la industria minera en el mundo, ya que una vez que ocurre es muy difícil de controlar el proceso, además su eliminación es costosa y si no se maneja bien esto causa impactos negativos en la calidad del agua, con efectos duraderos que pueden considerarse el mayor legado de daños en la industria.

Chaparro (2015) y Kefeni et al. (2017) agregan que los efectos que pueden provocar los DAM son:

- Afecta la eficiencia del agua y consecuentemente a las comunidades acuáticas, haciéndola no apta para el consumo por su alta acidez y presencia de minerales disueltos.
- Los depósitos de color marrón anaranjado necesarios para la aceleración del hierro y el sulfato se pueden encontrar en las branquias de los peces y cubren sus excrementos, lo que les impide comer.
- Afectan al suelo, también cambia la calidad del suelo.
- Impacto a las aguas subterráneas por proceso de ósmosis natural.
- Afecta a la vegetación porque su acidez y su concentración en iones sulfato y cloruro impiden su período de crecimiento natural.
- Daño al paisaje del área afectada, requiriendo rehabilitación de las áreas afectadas.

Los Pasivos ambientales mineros (PAM)

El Ministerio de Energías y Minas MINEM (2004), Indica que los PAM son aquellas instalaciones de aguas residuales, emisiones,

o sedimentos de basura productos de operaciones de la minería en activas o abandonadas y que resultan ser un problema para su entorno (población, ecosistema y propiedades).

Relave Laguna Quiulacocha

Bianchini y Grassi (2018) menciona que la Laguna Quiulacocha en el distrito de Simón Bolívar, es utilizada como represa de desechos mineros y la que se ubica en la comunidad con el mismo nombre. La represa tiene un color rojizo anaranjado debido a que contiene una gran cantidad de metal, principalmente óxidos de hierro. A la orilla de la laguna, observamos muchos animales, especialmente perros y aves, siendo envenenados al beber esta agua. “La comunidad de Quiulacocha está colindante con la laguna por menos de 50 m (los separa la carretera) y está directamente contaminada por los químicos presentes en la laguna: contaminación del aire por los vapores y polvos enriquecidos de metales pesados tóxicos; y la contaminación del suelo y agua. Las aguas residuales mineras ingresan a los acuíferos”.

Por esta razón, la laguna está llena de desechos mineros, que es una bomba ecológica que lleva casi 100 años esparciendo impactos degradantes sobre el medio ambiente. Presenta un riesgo incalculable por su cercanía a carreteras, ciudades, comunidades. La orilla de la laguna no cuenta con ningún tipo de barrera para evitar que personas y animales se acerquen a esta peligrosa zona. La salud humana está sujeta a riesgos sanitarios muy graves. La vida acuática en la laguna fue exterminada al comienzo de las operaciones mineras en el siglo pasado, pero continúa representando una amenaza para toda la vida silvestre que entra en contacto con la laguna de cualquier forma, especialmente aves, perros y mascotas cercanas.

2.3. Definiciones conceptuales

Método de neutralización – precipitación

“Las pruebas de neutralización y precipitación se realizaron de acuerdo con los parámetros de especies asegurando la singularidad y representatividad de las muestras de agua de mina recolectadas en el campo, y en un paso alcanzan un pH de 8 o 9, donde posterior al proceso de sedimentación, se origina la división sólido-líquido” (Aduvire, 2019).

Neutralización

“La neutralización implica el uso de reactivos que neutralizarán los ácidos presentes en el DAM para alcanzar condiciones propicias en la acumulación de metales pesados, que son precipitados como hidróxidos insolubles a un pH de siete a diez” (Aduvire, 2019).

Precipitación

“La creación de sólidos por la unión de artículos químicos suele aterrizar en la base de la solución. Por lo que la precipitación está integrado por muchas partículas pequeñas” (Riaño, 2007).

Sedimentación

“Es el consideración en el que las partículas con alta densidad van al fondo, en el que las partículas sólidas se separan y se recogen” (Ricco et al, 2008).

Acido

"Un ácido es toda sustancia (orgánicas e inorgánicas) que contiene hidrógeno con una base no metálica y produce iones de hidrógeno cuando se diluye en agua".

pH

“Esta es una medida común de ácido o base de una solución acuosa. Lo que lo define como el pH de una solución, que también es el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno en esa solución” (García, 2019).

Hipoclorito de sodio (NaClO)

El hipoclorito de sodio definida como la mezcla clara, amarillenta y de emanación característico. Es un oxidante fuerte. Al disolverse se producen dos sustancias que actúan como oxidante y desinfectante (Calderon, 2014).

Óxido de calcio (CaO)

“El óxido de calcio es una base que tiende a reaccionar con ácidos y metales, lo que eleva el pH. Es un coagulante de bajo precio capaz de precipitar metales y otros sólidos solubles, creando así condiciones favorables para la remoción, por lo que se utiliza en diferentes tratamientos químicos” (Cossio, 2002).

Drenaje ácido de mina (AMD)

" El drenaje ácido de mina (AMD) es la consecuencia de la oxidación de algunos minerales de sulfuro como la pirita” (Aduvire,2006).

Aguas acidas

“El agua de mina ácida se produce por la oxidación biológica y química de la pirita. Esto ocurre cuando las rocas que contienen estos sulfuros se exponen al aire o al agua. A esto, se debe agregar que las rocas ácidas y minerales también contienen muchos minerales en la solución, lo que contribuye en gran medida a la toxicidad de las aguas residuales” (Condorchem, 2012).

Pasivo ambiental minero

“Son instalaciones de aguas residuales, emisiones, residuos o residuos generados por actividades mineras que fueron abandonadas o inoperativas a la fecha de entrada en vigencia de la Ley N° 28271 y que constituyen un peligro permanente, y un riesgo para la salud de las personas, ecosistemas circundantes y propiedades “(MINEM, 2015).

Dosis suministrada

"Cantidad o concentraciones de agentes químicos presentes en una superficie al contacto durante un período de tiempo particular y expresada por unidad de masa corporal del individuo expuesto".

Remoción

"Mover algo, sacudirlo o voltearlo, en general para que sus diferentes elementos se unan" (RAE, 2020).

2.4 Hipótesis

H_A - La neutralización-precipitación química empleando hipoclorito de sodio y óxido de calcio, tiene efecto favorable en la remoción de metales pesados en las aguas acidas del pasivo ambiental.

H_o - La neutralización-precipitación química empleando hipoclorito de sodio y óxido de calcio, no tiene efecto favorable en la remoción de metales pesados en las aguas acidas del pasivo ambiental.

2.5. Variables

2.5.1. Variable Independiente

Neutralización – Precipitación química.

2.5.2. Variable Dependiente

Metales pesados en las aguas acidas del pasivo ambiental.

2.6. Operacionalización de variables

Título: “Efecto de la neutralización-precipitación química empleando Hipoclorito de Sodio y Óxido de Calcio, en la remoción de metales pesados en las aguas acidas del pasivo ambiental, distrito de Simón Bolívar – Pasco 2021”

Tesista: Bach. Vargas Baldeon, Alexandra.

Variables	Definición conceptual	Indicadores	Valor final	Escala
Variable independiente Neutralización – precipitación química.	“Adición de sustancias alcalinas, generalmente Hipoclorito de sodio, Peróxido de hidrogeno, Hidróxido de calcio, para neutralización del ácido y obtención de condiciones más adecuadas en la precipitación del metal pesado”. (Aduvire, 2006).	Reactivos neutralizadores	Hipoclorito de sodio (NaClO) Óxido de calcio (CaO)	De Razón
Variable dependiente Metales pesados en las aguas acidas	“Altos niveles de sulfatos y metales disueltos, como cobre, arsénico, cadmio y zinc, con grandes cantidades de sólidos en suspensión”. (Aduvire, 2006).	Cantidad de Cobre Cantidad de Hierro Cantidad de Zinc Cantidad de Plomo	%	Nominal

CAPÍTULO III

MÉTODOLÓGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El trabajo de investigación cae bajo la siguiente clasificación; es experimental, porque se basa en manipular las variables en condiciones muy controladas, cuantitativo, ya que las variables se miden antes y después de cada tratamiento, y longitudinalmente, por el número de mediciones en las variables estudiadas y analizadas, por el número de variables analizadas. (Hernández et al., 2014).

3.1.1. Enfoque

La investigación se llevó a cabo utilizando un enfoque cuantitativo ya que se utilizó el análisis estadístico como utensilio para la recopilación, organización, procesamiento y análisis de datos. La investigación que se realizó es de enfoque cuantitativo porque se usó análisis estadístico como utensilio para la recolección, organización, procesamiento y grafología de datos (Álvarez, 2011).

3.1.2. Alcance o nivel

La investigación correspondió al nivel explicativo, ya que tiende a reproducir la causa de los eventos físicos y químicos, y nuestro objetivo es centrarnos en explicar el comportamiento de las variables y las consecuencias que producen en el agua de la mina (Hernández et al., 2014).

3.1.3. Diseño

El diseño que se persiguió de esta investigación fue: Experimental puesto que está basado en la producción de la información, manejando las variables., Prospectivo, Longitudinal y Analítico. Se resume el diseño en el esquema siguiente:

GE₁: O₁ ——— X₁ ——— O₂

GE₂: O₁ ——— X₂ ——— O₂

Donde:

GE₁: Grupo operacional con Hipoclorito de Sodio (NaClO).

GE₂: Grupo operacional con Óxido de Calcio (CaO).

O₁: Observación inicial.

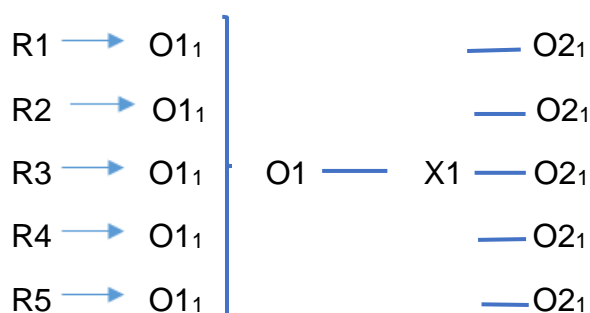
O₂: Observación final.

X₁: Reactivo neutralizante Hipoclorito de Sodio (NaClO).

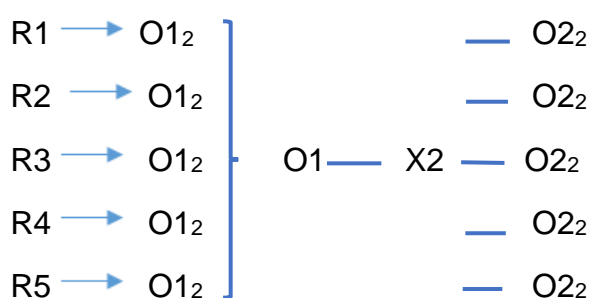
X₂: Reactivo neutralizante Óxido de Calcio (CaO).

- **El proyecto de tesis trabajo con 2 grupos operacionales, cada uno con cinco repeticiones, esquematizado de la siguiente manera:**

GRUPO OPERACIONAL 1 - Hipoclorito de Sodio



GRUPO OPERACIONAL 2 - Óxido de Calcio



3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población del trabajo de investigación consistió en toda el agua del drenaje ácido de mina (DAM) del pasivo ambiental Volcan Cía Minera que produce en su producción, distrito de Simón Bolívar, Pasco.

El trabajo de campo se realizó con dos salidas, uno para la realización de los tramites del permiso de la empresa minera, luego de la aceptación se realizó la toma de muestra y los procedimientos correspondientes, esto se realizó en el mes de agosto del 2021.

Tabla 9

Coordenadas UTM del Pasivo ambiental Quiulacocha.

Pasivo ambiental Quiulacocha	
Zona	18 L
Coordenadas Este:	359756
Coordenadas Norte:	8816831

3.2.2. Muestra

La muestra total del trabajo de investigación estuvo representada por 30 litros de aguas residuales mineras ácidas con contenido de metales pesados procedentes del pasivo ambiental Quiulacocha.

La investigación trabajo con 2 grupos operacionales, cada uno con cinco repeticiones, cada repetición tendrá una unidad de análisis de 1 litro de muestra.

Para la observación inicial de los dos grupos se homogenizo 10 litros de muestra, para conseguir un litro de unidad de análisis de muestra.

3.3. Técnicas e instrumento de recolección de datos.

Para la recolección de los datos se elaboró diversos formatos físicos y digitales en Excel para cada actividad. Estos formatos son fáciles y sencillos de preparar e interpretar para el registro de datos tanto en el campo como en la oficina.

3.3.1. Técnicas para la recolección de datos

- **Observación in situ**

En campo

En el lugar de investigación se hizo una definición previa, para fijar los puntos de monitoreo más acertado para recoger las muestras y se anotó las observaciones del cuerpo de agua (color, tipo de desecho, olor, color de plantas acuáticas, color de plantas a orillas de ríos , actividades humanas, etc.). Luego se procedió a toma lectura de las coordenadas en los puntos de monitoreo con el GPS.

- **Procedimiento para el experimento**

Recolección de muestras

Para la recolección de muestras se contempló lo siguiente:

Se siguió lo establecido en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N. 010-2016-ANA)

- Se hizo un primer enjuague de los recipientes (baldes y botellas) con el agua de la laguna, se agitó y se desechó el agua de lavado corriente abajo, para eliminar las sustancias presentes en las botellas.
- Seguidamente se tomó 2 muestras puntuales con apoyo de baldes, la primera fue de 10 litros y la segunda de 20 litros de agua acida de la laguna Quiulacocha para los análisis posteriores.
- Las muestras se tomaron en contra corriente y el balde se colocó en un ángulo adecuado para permitir la entrada de agua.
- Posterior a esto, se homogenizo 10 litros de muestra, para conseguir un litro de unidad de análisis de muestra que fue colocado en una botella de 1 litro, que sirvió para la observación inicial de los dos grupos de trabajo.
- Se procedió con el rotulado de ellos, con una etiqueta, escrita con letra clara , legible y se aseguro con cinta transparente.

- Se finalizó almacenando las muestras de agua ácida en un recipiente térmico (cooler) para que mantenerlo a baja temperatura, conserve sus características y evitar su contaminación.
- Para terminar el monitoreo de agua, las muestras se llevaron al laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la UNAS, debidamente refrigeradas para analizar los parámetros: pH, plomo, zinc, cobre, hierro, conductividad eléctrica.
- **Instrumentos de recolección de datos**

Tabla 10

Materiales y equipos utilizados en el muestreo.

MATERIALES	EQUIPOS
Botella de plástico de 1 litro.	-Cámara fotográfica
Etiquetas de identificación para frascos.	-Peachimetro
Cadena de custodia, lapiceros, baldes.	
Cooler, guantes de lates, libreta de campo.	
Bolsas plásticas, marcador indeleble, cinta adhesiva.	
Equipos de protección personal.	

Nota: Elaboración propia

- Se contó con los registros de campo para el monitoreo (Anexo 4 - registro de datos en campo, Anexo 5 - etiqueta para muestra de agua y Anexo 6 - cadena de custodia).

- **En el laboratorio**

Se analizó 2 unidades de análisis de 1 litro de muestra antes de la intervención y después de la intervención con el método se envió 5 unidades de análisis de 1 litro por grupo de trabajo, en total 10 unidades de análisis de 1 litro de muestra, para verificar el efecto del método empleado.

- Para las pruebas de laboratorio se tomó 20 L. de agua ácida.

Pruebas de laboratorio para el Primer Grupo de Trabajo

Óxido de Calcio (CaO)

- Se adquirió 5 vasos precipitados de un litro, a cada uno se le añadió una muestra de agua ácida de 800 mililitros, siendo el primero la muestra básica y los otros cuatro las repeticiones para cada procedimiento.
- Para las pruebas de neutralización, se preparó la Lechada de cal usando el óxido de calcio en forma de polvo, se pesó 10 gramos y se diluyó en agua destilada, esto se preparó para cada repetición.
- Posterior a esto, se agregó gradualmente la solución de lechada de cal en cada vaso precipitado, se agitó por 20 min y se dejó sedimentar por 30 min, hasta que el pH se estabilizó a 6, para ello se usó el pHmetro en intervalos para obtener el pH deseado.
- Cuando el pH fue estable y pasados unos minutos, se volvió a añadir la lechada de cal, y se copió el proceso hasta alcanzar el valor de pH entre 7-8.
- Para las pruebas de precipitación, las soluciones resultantes se dejaron reposando durante 8 horas, para precipitar los hidróxidos metálicos y sólidos y así obtener un sobrenadante.
- Se finalizó almacenando los sobrenadantes de cada vaso precipitado, en botellas de plástico y rotulándolos, con una etiqueta.
- Finalmente, las pruebas se enviaron a un laboratorio acreditado para su análisis fisicoquímico.

Pruebas de laboratorio para el Segundo Grupo de Trabajo

Hipoclorito de Sodio (NaClO)

- Se adquirió 5 vasos precipitados de un litro, a cada uno se le añadió una muestra de agua ácida de 800 mililitros, siendo el

primero la muestra básica y los otros cuatro las repeticiones para cada procedimiento.

- Para las pruebas de neutralización, se utilizó el Hipoclorito de Sodio (NaClO) en forma de líquido, se pesó 100 mililitros y se agregó gradualmente a cada vaso precipitado, se agitó por 20 min y se dejó sedimentar por 20 min, esto se preparó para cada repetición.
- Posterior a esto se volvió añadir 100 mililitros de Hipoclorito de Sodio a cada vaso precipitado se agitó por 30 min y se dejó sedimentar por 40 minutos y se tomó la lectura del ph.
- Para las pruebas de precipitación, las soluciones resultantes se dejaron reposando durante 8 horas, para precipitar los hidróxidos metálicos y sólidos y así obtener un sobrenadante.
- Se finalizó almacenando los sobrenadantes de cada vaso precipitado, botellas de plástico y rotulándolos, con una etiqueta.
- Finalmente, las pruebas se enviaron a un laboratorio acreditado para su análisis fisicoquímico y se siguieron las disposiciones del protocolo de laboratorio de la UNAS.

Estándares utilizados en la evaluación de las aguas

“Para evaluar el agua de la relavera Quiulacocha se utilizó los Estándares de Calidad Ambiental para Aguas (ECA) en la Categoría 3: riego vegetales y bebida de animales. Los parámetros a evaluar son: pH, conductividad eléctrica, hierro, zinc, cobre y plomo”.

3.3.2. Para la presentación de datos

Se utilizó las tablas y gráficos obtenidos del análisis estadístico, teniendo en cuenta la narración del artículo científico, fueron utilizados para interpretar los resultados, los mismo que ayudaron en la discusión y conclusión del estudio.

3.4. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.

Para el procesamiento y análisis de información, se usó el software estadístico IBM SPSS, versión 26, el cual es útil para el análisis de datos utilizando medidas de resumen, tales como: medida de tendencia central y dispersión. También, se contempla el uso de procedimientos estadísticos para la prueba de hipótesis, ya que este fue el propósito analítico de este estudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Resultados generales de los análisis del laboratorio

Tabla 11

Análisis inicial y final de las muestras de agua del pasivo ambiental empleando Oxido de Calcio.

ANÁLISIS FÍSICO / QUÍMICO DEL DRENAJE ACIDO DE MINA	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN		
	Análisis Inicial	Análisis final	
Conductividad Eléctrica	18,44 mS/cm	2.566 mS/cm	86.08%
pH final	2,62	9,468	
Zinc (Zn)	19,78 ppm	0.0011 ppm	99.99%
Cobre (Cu)	5,69 ppm	0.0182 ppm	99.68%
Plomo (Pb)	0,36 ppm	0.1236 ppm	65.67%
Hierro (Fe)	978,36 ppm	0.364 ppm	99.96%

Nota: Elaboración propia, con los datos obtenidos en el laboratorio. Los metales pesados se miden en partículas por millón (ppm) y en este caso se estudiaron 4 metales.

Tabla 12

Análisis inicial y final de las muestras de agua del pasivo ambiental empleando Hipoclorito de sodio.

ANÁLISIS FÍSICO / QUÍMICO DEL DRENAJE ACIDO DE MINA	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN		
	Análisis Inicial	Análisis final	
Conductividad Eléctrica	18,44 mS/cm	39.462 mS/cm	99.79%
pH final	2,62	3,63	
Zinc (Zn)	19,78 ppm	0.0168 ppm	99.91%
Cobre (Cu)	5,69 ppm	1.883 ppm	66.91%
Plomo (Pb)	0,36 ppm	0.067 ppm	81.39%
Hierro (Fe)	978,36 ppm	0.571 ppm	99.94%

Nota: Elaboración propia, con los datos obtenidos en el laboratorio. Los metales pesados se miden en partículas por millón (ppm) y en este caso se estudiaron 4 metales.

4.1. Procesamiento de datos

Propiedades químicas del agua acida de la Laguna Quiulacocha.

Tabla 13

Medición del pH del agua acida (inicial y final)

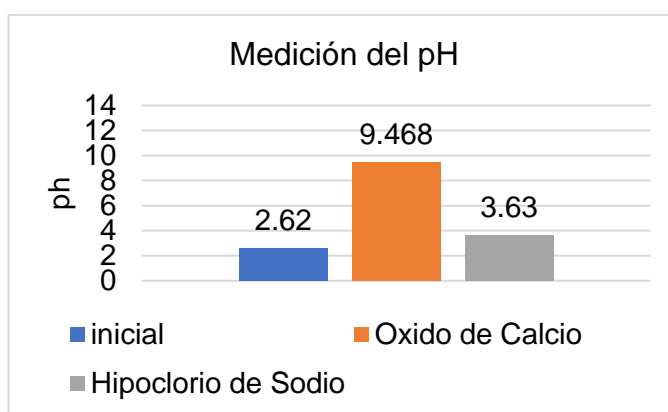
Medición	Grupo	Media	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
				Límite inferior	Límite superior
pH - inicial	Oxido de Calcio	2,6200	0,00000	2,6200	2,6200
	Hipoclorito de Sodio	2,6200	0,00000	2,6200	2,6200
pH - final	Oxido de Calcio	9,4680	,02691	9,3933	9,5427
	Hipoclorito de Sodio	3,6300	,03536	3,5318	3,7282
Diferencia	Oxido de Calcio	6.8480	,02691	6.7733	6.9227
	Hipoclorito de Sodio	1.0100	,03536	0.9118	1.1082

Nota: Elaboración propia, con las mediciones y análisis realizadas luego de la neutralización y precipitación química.

La tabla muestra que el grupo de estudio correspondiente al Oxido de Calcio causa una diferencia mayor que la causada por el grupo correspondiente del Hipoclorito de Sodio. Tal diferencia es positiva, indicando que hubo un cambio de la acidez inicial del agua luego de la neutralización y precipitación química.

Figura 3

Medición del pH del agua acida (inicial y final)



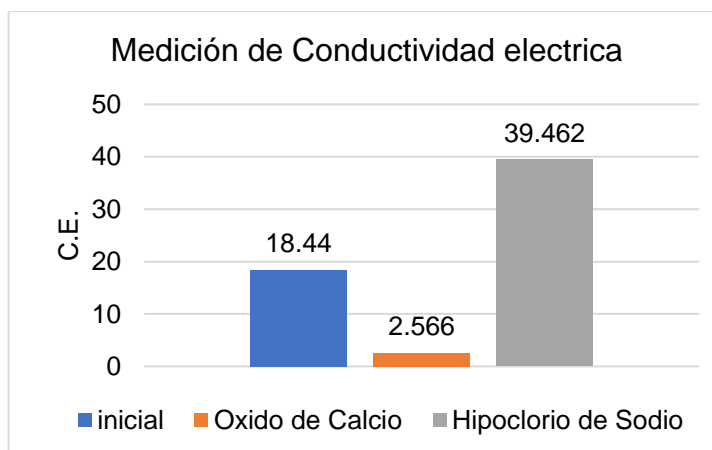
Nota: Elaboración propia. Los niveles de pH más ideales están entre los rangos de 6,5 y 8,4, según los estándares de calidad ambiental.

Tabla 14*Medición de la Conductividad Eléctrica (C.E.) del agua acida (inicial y final)*

Medición	Grupo	Media	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
				Límite inferior	Límite superior
C.E - inicial	Oxido de Calcio	18,4400	0,00000	18,4400	18,4400
	Hipoclorito de Sodio	18,4400	0,00000	18,4400	18,4400
C.E - final	Oxido de Calcio	2,5660	,06713	2,3796	2,7524
	Hipoclorito de Sodio	39,4620	,02956	39,3799	39,5441
Diferencia	Oxido de Calcio	-15.847	,06713	-16.0604	-15.6876
	Hipoclorito de Sodio	21.022	,02956	20.9399	21.1041

Nota: Elaboración propia, con las mediciones y análisis realizadas luego de la neutralización y precipitación química.

En la tabla se observa que el grupo de estudio correspondiente al oxido de calcio ocasionó una reducción de la Conductividad Eléctrica (C.E.), a diferencia del grupo del Hipoclorito de sodio que provoco un aumento en la Conductividad Eléctrica (C.E.).

Figura 4*Medición de la Conductividad Eléctrica (C.E.)*

Nota: Elaboración propia.

Estadísticamente el óxido de calcio tiene mejor efecto en la reducción de la conductividad eléctrica, por el contrario, el hipoclorito aumenta la conductividad eléctrica.

Tabla 15

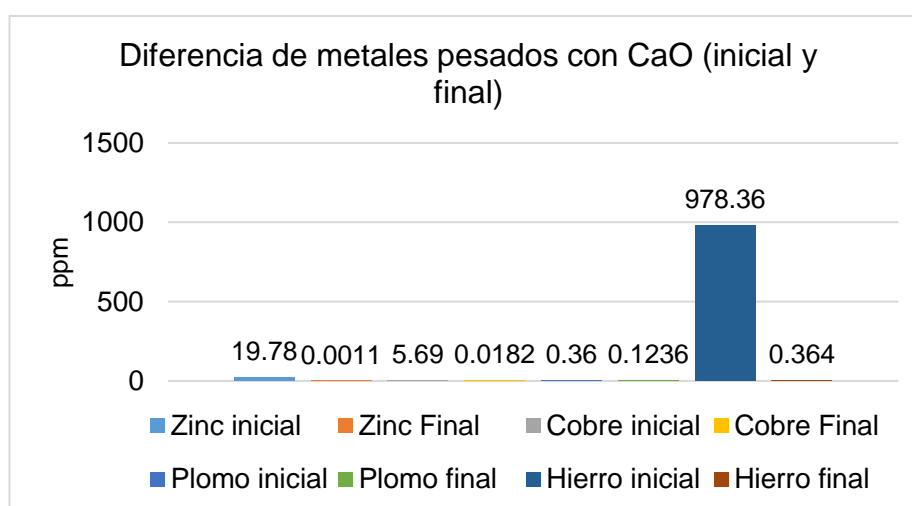
Diferencia de Metales pesados antes y después de la neutralización y precipitación química usando Óxido de Calcio.

Grupo	Medición	Media	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
				Límite inferior	Límite superior
Óxido de Calcio	Zn inicial	19,7800	0.00000	19,7800	19,7800
	Zn final	0.00110	0,00003	0.00100	0.00120
	Zn diferencia	-19.7789	0,00003	-19.779	-19.7788
	Cu inicial	5,6900	0.00000	5,6900	5,6900
	Cu final	0.0182	0,00284	0.0103	0.0261
	Cu diferencia	-5.6718	0,00284	-5.6797	-5.6639
	Pb inicial	0,3600	0.00000	0,3600	0,3600
	Pb final	0.1236	0,00333	0.1144	0.1328
	Pb diferencia	-0.2364	0,00333	-0.2456	-0.2272
	Fe inicial	978,360	0.00000	978,360	978,360
	Fe final	0.0364	0,00258	0.0292	0.0436
	Fe diferencia	-978.3236	0,00258	-978.3308	-978.3164

Nota: Elaboración propia, con las mediciones y análisis realizadas luego de la neutralización y precipitación química.

Figura 5

Diferencia de metales pesados con Óxido de Calcio (CaO)



Nota: Elaboración propia.

Tabla 16

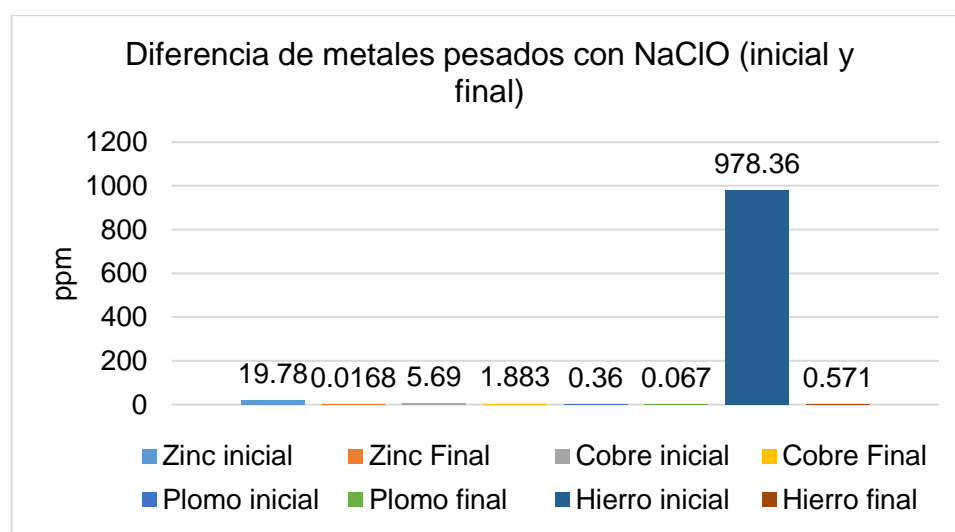
Diferencia de Metales pesados antes y después de la neutralización y precipitación química usando Hipoclorito de Sodio.

Grupo	Medición	Media	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
				Límite inferior	Límite superior
Hipoclorito de Sodio	Zn inicial	19,7800	0,000000	19,7800	19,7800
	Zn final	0,01680	0,002478	0,00992	0,02368
	Zn diferencia	-19,7632	0,002478	-19,77008	-19,75632
	Cu inicial	5,69000	0,000000	5,69000	5,69000
	Cu final	1,88300	0,003271	1,87392	1,89208
	Cu diferencia	-3,80700	0,003271	-3,81608	-3,79792
	Pb inicial	0,36000	0,000000	0,36000	0,36000
	Pb final	0,06700	0,003194	0,05813	0,07587
	Pb diferencia	-0,29300	0,003194	-0,30187	-0,28413
	Fe inicial	978,360	0,000000	978,360	978,360
	Fe final	0,57100	0,002665	0,56360	0,57840
	Fe diferencia	-977,789	0,002665	-977,7964	-977,7816

Nota: Elaboración propia, con las mediciones y análisis realizadas luego de la neutralización y precipitación química.

Figura 6

Diferencia de metales pesados con Hipoclorito de Sodio (NaClO).



Nota: Elaboración propia.

Tabla 17

Prueba de normalidad en las mediciones usando la prueba de Kolmogorov-Smirnov

		Pruebas de normalidad					
Diferencia	Grupo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
C.E. final - inicial	“Óxido de Calcio”	0,160	5	0,200*	0,968	5	0,865
	“Hipoclorito de Sodio”	0,210	5	0,200*	0,912	5	0,478
pH final - inicial	“Óxido de Calcio”	0,157	5	0,200*	0,978	5	0,924
	“Hipoclorito de Sodio”	0,294	5	0,184	0,834	5	0,148
ZINC final - inicial	“Óxido de Calcio”	0,300	5	0,161	0,883	5	0,325
	“Hipoclorito de Sodio”	0,254	5	0,200*	0,910	5	0,468
COBRE final - inicial	“Óxido de Calcio”	0,150	5	0,200*	0,982	5	0,944
	“Hipoclorito de Sodio”	0,154	5	0,200*	0,990	5	0,981
PLOMO final - inicial	“Óxido de Calcio”	0,215	5	0,200*	0,927	5	0,574
	“Hipoclorito de Sodio”	0,158	5	0,200*	0,980	5	0,932
HIERRO final - inicial	Óxido de Calcio	0,141	5	0,200*	0,979	5	0,928
	Hipoclorito de Sodio	0,169	5	0,200*	0,987	5	0,970

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Elaboración propia a partir de las mediciones realizadas y el procesamiento de datos por medio del software estadístico SPSS versión 25.

A partir de la Sig. Asintótica bilateral (p-valor) que se obtuvo en la prueba de normalidad, se observa que los datos cumplen con el supuesto de normalidad, por esta razón se considera un procedimiento estadístico paramétrico para el análisis de estos datos. Se elige la prueba denominada t de Student para muestras independientes.

4.2. Contrastación de Hipótesis y Prueba de hipótesis

Para determinar si existe un efecto favorable en la remoción de metales pesados en las aguas acidas del pasivo ambiental es necesario el planteamiento una hipótesis de investigación, el cual presenta el análisis de los indicadores que evidencian la neutralización-precipitación:

H_A - La neutralización-precipitación química empleando hipoclorito de sodio y oxido de calcio, tiene efecto favorable en la remoción de metales pesados en las aguas acidas del pasivo ambiental.

La hipótesis nula (**H₀**) es la que se opone a la hipótesis alterna (**H_A**)

Nivel de significancia: 5% = 0.05

Cálculo del p-valor

Tabla 18*Prueba T para muestras independientes estadísticas de grupo.*

Estadísticas de grupo					
Diferencia	Grupo	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
C.E. final -inicial	CaO	5	-15,8740	,15010	,06713
	NaClO	5	21,0220	,06611	,02956
pH final -inicial	CaO	5	6,8480	,06017	,02691
	NaClO	5	1,0100	,07906	,03536
ZINC final -inicial	CaO	5	-19,7789	,00007	,00003
	NaClO	5	-19,7632	,00554	,00248
COBRE final - inicial	CaO	5	-5,6718	,00634	,00284
	NaClO	5	-3,8070	,00731	,00327
PLOMO final - inicial	CaO	5	-,2364	,00744	,00333
	NaClO	5	-,2930	,00714	,00319
HIERRO final - inicial	CaO	5	-978,3236	,00577	,00258
	NaClO	5	-977,7890	,00596	,00266

Nota: Elaboración propia; existen diferencias entre las medias y la desviación típica.

Tabla 19*Prueba de muestras independientes*

Prueba t para la igualdad de medias			
Diferencia	t	gl	Sig. (bilateral)
C.E. final -	-503,023	8	,000
inicial	-503,023	5,495	,000
pH final -	131,399	8	,000
inicial	131,399	7,470	,000
ZINC final -	-6,335	8	,000
inicial	-6,335	4,001	,003
COBRE	-430,772	8	,000
final -inicial	-430,772	7,842	,000
PLOMO	12,275	8	,000
final -inicial	12,275	7,987	,000
HIERRO	-144,119	8	,000
final -inicial	-144,119	7,992	,000

Nota: La prueba nos indica que existe diferencias significativas en cada uno de los casos puesto que la significancia bilateral es pequeña menor al 0.05.

El p-valor (significancia asintótica bilateral) que se obtuvo demuestra que (0.000) y considerando un nivel de significancia de 5%, esto indica que en efectivamente hubo diferencia significativa empleando las dos sustancias (Hipoclorito de Sodio y Óxido de calcio) y esto se dio en todos los parámetros evaluados. Por lo que se acepta el efecto favorable en el experimento.

Tabla 20

Interpretación de la Conductividad Eléctrica (C.E.) inicial y final con la neutralización y precipitación química.

GRUPO	C.E. INICIAL	INTERPRETACIÓN	C.E. FINAL	INTERPRETACIÓN
Óxido de Calcio	18,44 mS/cm	Supera el límite en cualquier momento, y el límite anual; máximo 0.05 mS/cm.	2.566 mS/cm	Reducción, pero aún se mantiene sobre el estándar que indica un valor de 0.05 mS/cm
Hipoclorito de Sodio	18,44 mS/cm		39.462 mS/cm	Supera el límite en cualquier momento y límite anual

Nota: Elaboración propia con base en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (ECA) Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 21

Interpretación de pH inicial y final con la neutralización y precipitación química.

GRUPO	PH INICIAL	INTERPRETACIÓN	PH FINAL	INTERPRETACIÓN
Óxido de Calcio	2,62	Demasiado ácido para la protección de vida acuática,	9.468	Ligeramente alcalino la protección de vida acuática
Hipoclorito de Sodio	2,62	supera los valores ECA y LMP	3.63	Demasiado ácido para la protección de vida acuática, para riego y bebida de animales

Nota: Elaboración propia con base en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (ECA) Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 22

Interpretación del promedio de la concentración de Zinc (Zn) antes y después de la intervención.

Grupo operativo	Promedio inicial de Zn	Interpretación	Promedio final de Zn	Interpretación	
				ECA	LMP
Óxido de Calcio	19,78 Ppm	Supera el límite en cualquier momento, y el	0.0011 ppm	Dentro de ECA; riego vegetal y bebida de animales	Dentro del límite en cualquier momento y límite anual
Hipoclorito de Sodio	19,78 ppm	límite anual; máximo 9 ppm.	0.0168 ppm		

Nota: Elaboración propia con base en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (ECA) Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

Tabla 23

Interpretación del promedio de la concentración de Cobre (Cu) antes y después de la intervención.

Grupo operativo	Promedio inicial de Cu	Interpretación	Promedio final de Cu	Interpretación	
				ECA	LMP
Óxido de Calcio	5,69 ppm	Concentración alta para riego de vegetales, superando el	0.0182 ppm	Dentro de ECA; riego vegetal y bebida de animales	Dentro del límite en cualquier momento y límite anual
Hipoclorito de Sodio	5,69 ppm	valor máximo de 0.2 ppm.	1.883 ppm	Reducción, pero aún se mantiene sobre el estándar que indica un – 0.5 ppm	Supera el límite en cualquier momento y límite anual

Nota: Elaboración propia con base en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (ECA) Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 24

Interpretación del promedio de la concentración de Plomo (Pb) antes y después de la intervención.

Grupo operativo	Promedio inicial de Pb	Interpretación	Promedio final de Pb	Interpretación	
				ECA	LMP
Óxido de Calcio	0,36 ppm	Concentración alta para riego de vegetales,	0.1236 ppm	Sobre el estándar de riego vegetal y bebida animales	Dentro del límite en cualquier momento y límite anual.
Hipoclorito de Sodio	0,36 ppm	superando el valor máximo de 0.05 ppm.	0.067 ppm	pero aún se mantiene sobre la ECA	

Nota: Elaboración propia con base en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (ECA) Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Tabla 25

Interpretación del promedio de la concentración de Hierro (Fe) antes y después de la intervención.

Grupo operativo	promedio inicial de Fe	Interpretación	Promedio final de Fe	Interpretación	
				ECA	LMP
Óxido de Calcio	978,36 ppm	Demasiado elevado superando los parámetros establecidos lo	0.364 ppm	Dentro del rango para riego vegetal y bebida animales	Dentro del rango en cualquier momento y anual, lo que indica
Hipoclorito de Sodio	978,36 ppm	que indica un máximo de 5 ppm.	0.571 ppm		que indica un máximo de 2 ppm.

Nota: Elaboración propia con base en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (ECA) Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Características técnicas del Área de Influencia del Pasivo Ambiental Quiulacocha

Ubicación: La relavera Quiulacocha se ubica a 5 km de la ciudad de Cerro de Pasco en el centro de los centros poblados Quiulacocha, y Champamarca y a 4266 msnm distrito de Simón Bolívar, provincia y Región Pasco Ledesma (2018).

Latitud, longitud y altitud: Latitud 8820 000 N y Longitud 362 000 E y una altitud de 4266 msnm y se orienta de sur oeste a noreste. Está rodeada por el noreste con el depósito de desmontes Excelsior y el cerro Shuco (4,400 msnm) y por el sureste por la pampa Jogoj (4370 msnm).

Características: La relavera Quiulacocha tiene un área de 110 Ha y contiene cerca de 70 millones de toneladas de desechos de relaves y su cuenca ocupa un área de 13,7 km². El depósito del relave presenta un dique flotante, la cual se divide en dos secciones, con un desnivel de 2 metros, presentando el nivel más bajo, en la parte suroeste del depósito, con una suave pendiente de depositación y un nivel superior al noreste INDECI (2021).

Hidrografía: “La sub cuenca de Quiulacocha ha sido identificada como una zona de vida Tundra Pluvial- Alpino Tropical”

Clima y Meteorología: “El área de estudio está ubicada en una meseta alto andino, y presenta un clima típico frío y seco. Tiene 2 estaciones; la temporada seca dura de mayo a octubre y la temporada de lluvias de noviembre a abril, la temperatura media anual de 3°C a 13°C y la velocidad del viento es de 9 a 12 km/h”. SENAMHI (2016).

Escenario actual: “Actualmente el depósito de relaves de Quiulacocha es un pasivo de propiedad del estado peruano, estando a cargo de la empresa estatal Activos Mineros, operó hasta el año 1993” Ledesma (2018).

Condiciones actuales del área de estudio:

Ambiente Biológico: “El área de estudio se ubica en la región de la puna, que se caracteriza por la ausencia de bosques y la abundancia de pastizales como el ichu y otras gramíneas como la chiligua, el

carrizo, el musgo y los líquenes. Entre los animales encontramos vizcacha, venado gris andino, taruca, cuyes y camellos llama, alpacas, vicuñas. Entre las aves tenemos patos, gaviotas, pariona, zorzal, gorriones. En los ríos se pueden encontrar truchas, bagres, ranas y challhuas”.

Ambiente Físico:

- **“Cadena montañosa:** Caracterizado por impresionantes elevaciones de hasta 500 msnm en el área de estudio, moderado por una topografía accidentada. Esta región forma parte del dominio morfológico glaciar”.
- **Valles y circos glaciales:** Poseen una gran área de bofedales seguidos geomorfológicamente de amplios valles de fondo, primero creados por impacto glaciar y luego, con el retroceso glaciar, una parte se rellena con material morrénico.
- **Valles Intrandinos:** Se caracteriza por un terreno joven con fuertes pendientes y pendientes moderadas en el fondo del valle.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En cuanto al objetivo general: Demostrar el efecto de la neutralización-precipitación química empleando hipoclorito de sodio y óxido de calcio, en la remoción de metales pesados en las aguas acidas del pasivo ambiental, los resultados muestran la eficacia del tratamiento para eliminar metales pesados presente en las aguas acidas.

Los resultados evidencian la eficiencia del óxido de calcio, donde se tuvo un pH inicial de 2, se usó la lechada de cal al 10%, para elevar el pH a 9; por lo tanto, a un pH de 9 se logra una gran reducción de Zinc 19,78 ppm a 0.0011 ppm, Cobre 5,69 ppm a 0.0182 ppm y Hierro 978,36 ppm a 0.364 ppm la concentración de estos metales no excede los estándares de calidad ambiental para el agua de Categoría 3. Y del mismo modo, Jimenez (2017) , en su tesis titulada “Eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con lechada de Cal de la Unidad Minera Arasi – Puno” , en cuyo resultados indica una eficiencia de remoción de 78.65% en los metales pesados a pH de 8 ,evidenciando que por este método se logra agua tratada de buena calidad de acuerdo a la normatividad vigente.

Con respecto al Plomo su valor inicial fue de 0,36 ppm y el final fue de 0.1236 ppm mientras que la conductividad eléctrica disminuyó de 18,44 mS/cm a 2.566 mS/cm, el tratamiento para estos parámetros no es satisfactorio, pues se obtuvo porcentajes menores de reducción, resultado que difiere con lo mencionado por Jimenez (2017). El Hipoclorito de sodio tiene menor eficacia en el tratamiento en comparación con el óxido de calcio, ya que los resultados demuestran una menor remoción en los metales como plomo 0,36 ppm a 0.067 ppm, cobre 5,69 ppm a 1.883 ppm, como también en el pH que paso de 2 a 3 y la conductividad Eléctrica 18,44 mS/cm a 39.462 mS/cm.

Con respecto al objetivo específico 01:

En el caso de los parámetros físicos en el agua tratada con lechada de cal al 10% y con un tiempo de agitación de 30 min. Se observa la disminución considerable del PH y la conductividad, pese a que, el pH obtenido fue de 9 aun sobrepasa los LMP y la ECA. Esto contradice a lo que dice Ayala (2018) en su tesis: Influencia de la dosificación de cal en el tratamiento de las aguas ácidas de la quebrada Mesa de Plata Hualgayoc – 2018, Cajamarca, Perú, Universidad Privada del Norte, esta investigación obtiene un pH 8.09 u.e empleando 12 gramos de cal y 90 min de agitación logrando que la C.E logre bajara sus concentraciones. Por lo que se puede concluir que el tiempo de agitación y la dosis del reactivo neutralizador como, oxido de calcio e hipoclorito de sodio, afecta notablemente en la eficiencia de remoción de los minerales y parámetros físicos. Por otro lado, con el Hipoclorito de Sodio no se obtuvo resultados favorables, el pH se mantuvo ácido y la conductividad eléctrica vario considerablemente, sin embargo, no se logró los valores establecidos en la ECA y en los LMP.

Con respecto al objetivo específico 02:

En el caso de los parámetros químicos, como los metales pesados en la presente investigación empleando lechada de cal al 10 %, los parámetros químicos como Zinc, Cobre y Hierro alcanzan variar ampliamente a un pH de 9 , obteniendo valores eficientes para el tratamiento, Por otro lado la investigación de Sevillano (2017) en su Tesis titulada: “Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017”, Universidad Cesar Vallejo, Lima , en sus resultados confirman la variación de sus parámetros químicos como plomo , sulfatos , zinc ,arsénico , en la investigación de Sevillano (2017) utilizó un floculante, que contribuyó a que los metales se asientan más rápido y en mayor cantidad, por lo cual la remoción de parámetros fue mayor; por otro lado , en la presente investigación no se utilizó floculante, lo que pudo haber influenciado en la variación de los parámetros químicos. A comparación del Hipoclorito de Sodio los parámetros químicos siguen teniendo altas concentraciones de metales después del tratamiento.

Con respecto al objetivo específico 03: Se describió la comparación de los resultados obtenidos del tratamiento con Estándares de Calidad Ambiental de agua Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM - Categoría 3 que son aguas para riego de vegetales y bebida de animales.

Con respecto al objetivo específico 04: Se describió las características técnicas del pasivo ambiental Quiulacocha ; como el autor Ledesma (2018) en su Tesis titulada: “Propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mineras” , realiza el diagnóstico de la relavera . nombrando las características del pasivo ambiental. Y del mismo modo en el presente trabajo de investigación se realizó un diagnóstico para identificar las características técnicas del pasivo ambiental Quiulacocha, como la flora y fauna, hidrología, climatología, así como también el escenario actual en el que se encuentra el pasivo ambiental.

Por otro lado (INDECI, 2021) en su reporte de peligro inminente n° 055 - 25/2/2021 , nombra las características y los peligros que pueden ocasionar el desembalse de la relavera Quiulacocha en el distrito de Simón bolívar- Pasco de igual modo se consideró las definiciones para la presente investigación.

CONCLUSIONES

Se concluye que:

En relación con el objetivo general, a partir de los resultados se logró demostrar que existe efecto al emplear el método neutralización – precipitación en las aguas acidas puesto que hay variación del pH como también la remoción de los metales pesados, tanto en el uso del Hipoclorito de sodio (NaClO) y Oxido de calcio (CaO).

En relación con el objetivo específico 01, que si hubo variación puesto que inicialmente el pH era 2.62 lo cual es extremadamente ácido y empleando el CaO se obtuvo un pH 9.47 siendo este fuertemente alcalino y al emplear NaClO se obtuvo un pH de 3.63 lo cual es extremadamente ácido. Conductividad eléctrica inicial fue de 18.44 mS/cm y empleando el CaO se obtuvo 2.566 mS/cm y con NaClO se obtuvo 39.46 mS/cm lo cual se interpreta que el agua es mal conductor de electricidad en ambos casos.

En relación con el objetivo específico 02, que, si hubo variación de metales pesados puesto que inicialmente el Zinc fue de 19,78 ppm, Hierro 978,36 ppm y Cobre 5,69 ppm, en los análisis finales al emplear CaO se obtuvo Zinc de 0.0011 ppm, Cobre 0.0182 ppm, Hierro 0.364 ppm, se obtuvo el valor de Plomo 0.1236 ppm y al emplear NaClO, los datos que se obtuvieron fueron de Zinc 0.0168 ppm, Hierro 0.571 ppm, Cobre 1.883 ppm y Plomo 0.067 ppm.

En relación con el objetivo específico 03, al comparar los resultados con los ECA - Categoría 3 se interpretó que el CaO es más eficiente para los tratamientos de aguas acidas ya que en todos los parámetros analizados tuvo mejor efecto excepto en el metal pesado Plomo.

En relación con el objetivo específico 04, se logró caracterizar el pasivo ambiental minero.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que para futuras investigaciones se lleve a cabo un análisis de los metales pesados que no se estudiaron en la investigación, de este modo saber la efectividad del óxido de calcio y el hipoclorito de sodio en la remoción de otros metales.

Se recomienda que para futuras investigaciones se realicen estudios de los metales que no se analizaron en la investigación para saber la efectividad del tratamiento en la remoción en otros metales.

Se recomienda experimentar con dosis más alta del hipoclorito de sodio y oxido de calcio que la utilizada en esta investigación para lograr estabilizar el pH.

Se recomienda a las autoridades competentes exigir que las empresas mineras dispongan adecuadamente sus relaves mineros según los establece el MINAM y el MINEM.

Se recomienda usar 250 litros de Oxido de Calcio por cada 1000 litros de agua acida para lograr la remoción de metales pesados, puesto que en la investigación tuvo mejor resultado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduvire, O. (2006). Drenaje Acido de Mina. *Instituto Geologico y Minero de España*, 140.
- Aduvire, O. (2019). Innovaciones técnicas en el tratamiento de aguas acidas de mina con recuperación de subproductos con valor económico. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 4(1), 55–64.
- Aguirre, W., & Huaman, R. (2019). *Eficiencia del tratamiento del drenaje ácido de mina en la bocamina prosperidad con método químico empleando cal a nivel de laboratorio* [Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/15018>
- Álvarez, C. (2011). Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa Guía didáctica. *Programa de comunicacion social y periodismo, Universidad Surcolombia Facultad de Ciencias Sociales y Humanas*, 217.
- Ayala, R. (2018). *Influencia de la dosificación de cal en el tratamiento de las aguas ácidas de la quebrada Mesa de Plata Hualgayoc – 2018* [Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14135>
- Basilio, J. (2015). *Influencia de la acidez en la remoción de plomo (Pb²⁺) utilizando dolomita como adsorbente*. [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1704>
- Bengtsson, L., Hodges, K., Roeckner, E., & Brokopf, R. (2006). On the natural variability of the pre-industrial European climate. *Climate Dynamics*, 27(7), 743–760. <https://doi.org/10.1007/s00382-006-0168-y>
- Bianchini, F., & Grassi, L. (2018). Estudios en poblaciones afectadas por metales pesados en pasco. *SOURCE INTERNATIONAL DE ITALIA*, 102.
- Broughton, F. (1995). Correction to Broughton (1995). *Psychiatry, Psychology and Law*, 2(2), 178–178. <https://doi.org/10.1080/13218719509524866>
- Calderon, J. (2014). Efecto del hipoclorito de sodio y sulfuro de sodio en el tratamiento de los efluentes metalúrgicos cianurados . *a Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 5.

- Calvo, D., Jordi Casado, Zamora, G., & Alfonzo, P. (2013). *Estudio para el Tratamiento de las Aguas Ácidas por Neutralización- Precipitación en Interior de la Mina Santa Fé, Bolivia*. 14.
- Chambe, M. (2008). *Evaluación de los métodos químicos y biogénico para el tratamiento de drenaje ácido de mina a escala de laboratorio*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/802/Nina_cm.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chaparro, L. (2015). Drenajes ácidos de mina formación y manejo. *Revista ESAICA*, 1, 53. <https://doi.org/10.15649/24225126.272>
- Chapman, P., Wang, F., Janssen, C., Goulet, R., & Kamunde, C. (2003). Conducting Ecological Risk Assessments of Inorganic Metals and Metalloids: Current Status. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 9(4), 641–697. <https://doi.org/10.1080/713610004>
- Condorchem, E. (2012). Tratamiento de aguas ácidas en minas. *Ingeniería ambiental para el sector industrial*. <https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-aguas-acidas-en-mineria/>
- Cornelis, R., & Nordberg, M. (2007). *Handbook on the toxicology of metals*. General Chemistry, Sampling, Analytical Methods, and Speciation.
- Cossio, N. (2002). Soluciones Ecológicas con el Uso de la Cal. *Calidra*. <https://calidra.com/soluciones-ecologicas-con-el-uso-de-la-cal/>
- Escandon, C. (2019). Identificación de pasivos ambientales mineros en la provincia de Pasco, sus efectos y realidad actual 2018. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1486>
- Espinosa, M. (1997). *Diseño de una planta de tratamiento para el drenaje ácido de una mina en el Estado de México* [Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/6246/1/1080072284.PDF>
- Espinosa, R., Hidalgo, M., & Delgado, D. (2016). Diseño de un sistema de tratamiento para el drenaje ácido de mina basado en el proceso de lodos de alta densidad (HDS). *Revista Académica de la FI-UADY*, 20, 13.

- García, B. (2019). "Contaminación del agua por metales pesados As, B, Cu, Pb, Cd y CN en las cuencas de los Ríos Tambo, Quilca, Camaná y Ocoña de la región Arequipa" [UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA].
file:///C:/Users/ACER/Downloads/UPgafnbv.pdf
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta). McGraw-Hill.
- Herrera, J., & Rodríguez, S. (2002). Acid–Base Accounting to Predict Post-Mining Drainage Quality on Surface Mines. *Journal of environmental quality*, 31, 2034–2044. <https://doi.org/10.2134/jeq2002.2034>
- Ide, V. (2019). *Tratamiento integral de drenajes ácidos de mina mediante metodologías de adsorción química* [Universidad de Chile].
<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/172834>
- INDECI. (2021). *Desembalse de la relavera Quiulacocha en el distrito de Simón Bolívar Pasco*.
https://www.google.com/search?q=POR+DESEMBALSE+DE+LA+RELAVERA+QUIULACOCHA+EN+EL+DISTRITO+DE+SIM%C3%93N+BOL%C3%8DVAR-+PASCO&rlz=1C1OKWM_esPE945PE945&oq=POR+DESEMBALSE+DE+LA+RELAVERA+QUIULACOCHA+EN+EL+DISTRITO+DE+SIM%C3%93N+BOL%C3%8DVAR-+PASCO&aqs=chrome..69i57.403j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- Inga, E. (2012). Tratamiento de efluentes por el método de pantanos artificiales (Wetland). *Universidad Nacional de Ingeniería*.
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1078>
- Jacipt, R. (2005). Tratamiento de aguas residuales urbanas utilizando la depuración simbiótica. *Universidad de Pamplona*, 3(2), 9.
- Jimenez, 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* [Universidad Peruana Unión].
<http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/856>
- Kefeni, K., Msagati, & Mamba, B. B. (2017). Acid mine drainage: Prevention, treatment options, and resource recovery: A review. *Journal of Cleaner*

Production, 151, 475–493.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.082>

Kim, J., & Kim, S. (2003). *Environmental, Mineralogical, and Genetic Characterization of Ochreous and White Precipitates from Acid Mine Drainages in Taebaeg, Korea | Environmental Science & Technology*.
<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es026353a>

Lapakko, K. (2002). *Metal Mine Rock and Waste Characterization Tools: An Overview*. 31.

Ledesma, W. (2018). *Propuesta de tratamiento del depósito de relaves De quiulacocha-pasco para su remediación Ambiental, basada en experiencias exitosas en Empresas mineras*. [Maestría, Universidad nacional daniel alcides carrión].
<http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/878/1/TESIS%20MAESTRIA%20JLV%20-%202019.pdf>

Loayza, R. (2015). *EXTENSO – DAÑOS AMBIENTALES DE LA MINERÍA EN EL PERÚ: ¿QUÉ HACER CON ELLOS? | III Conferencia Académica*.
<http://www.metasbicentenario.consorcio.edu.pe/mineria-y-ambiente/extenso-danos-ambientales-de-la-mineria-en-el-peru-que-hacer-con-ellos/>

López, Aduvire, & Baretino. (2002). *Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: Estado actual y perspectivas de futuro*. 19.

Manual de usos ecologicos de la cal. (2002). Grupo Calidra.
<http://www.foccal.org/descargas/Tratamiento-AGUAS-CAL.pdf>

Martinez, M. (2019). *Influencia del peso de TiO₂ en la remoción de mercurio divalente en un fotocatalizador de placas planas inclinadas* [Universidad Nacional Agraria de la Selva].
<http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1590>

Medina, R. (2018). *“Diseño y operatividad de la planta de neutralización de aguas ácidas de mina Paragsha Cerro de Pasco en minero Volcan S.A.A.”* [Universidad Nacional de San Agustín].
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5907/IMmequirj.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MINEM. (s/f). *Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Acido de Minas*. Lima, Perú.

http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/manedre_naje.pdf

- MINEM. (2004). *Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera—LEY N° 28271*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28271.pdf>
- MINEM. (2015). *Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en el Perú*. Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en el Perú.
- Minger, C. (2020). *Biorremoción de plomo en soluciones acuosas mediadas por microalgas a escala de laboratorio*. [Título Profesional, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1795/TS_CBM_R_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Nordstrom, D., & Alpers, C. (1999). Negative pH, Efflorescent Mineralogy, and Consequences for Environmental Restoration at the Iron Mountain Superfund Site, California. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96, 3455–3462. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.7.3455>
- RAE. (2020). *Remover | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/remover>
- Ramirez, G. (2013). *Estudio Técnico del Tratamiento de Aguas Ácidas*. Universidad Nacional del Callao.
- Riaño, N. (2007). *Fundamentos de química analítica básica. Análisis cuantitativo* (Segunda Edición). Universidad de Caldas. <https://books.google.com.pe/books?id=CfxqMXYfu7wC&pg=PA119&dq=precipi#v=onepage&q&f=false>
- Rico, A., Pérez, R., & Castellanos, M. (2008). *Química I. Agua Y Oxígeno* (Tercera Edición). Dirección General del Colegio de Ciencias y Unidades. <https://books.google.com.pe/books?id=QrwBFieMG04C&printsec=frontcover&s#v=onepage&q&f=false>
- Rimarachin, P., & Huaranga, F. (2015). Tratamiento de aguas de efluentes minero – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales. *Universidad Nacional de Trujillo*, 18.

- Romero, A., Flores, S., & Medina, R. (2008). *Estudio de los metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa*. 4.
- SENAMHI. (2016). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*.
<https://www.gob.pe/senamhi>
- Sevillano, R. (2017). *“Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017”*. [Título Profesional, Universidad Cesar Vallejo].
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/16630/Sevillano_GR..pdf?sequence=1&isAllowed=y
- UNAS. (2019). *DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS TOTALES CON DIGESTIÓN ACIDA POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA*.
- Villas, R., & Page, R. (2002). *La Minería em el Contexto de la Ordenación del Territorio*. CYTED-CETEM.
- WHO. (2021). *OMS | Agua*. WHO; World Health Organization.
<http://www.who.int/topics/water/es/>

ANEXOS

ANEXO 1 Matriz de consistencia

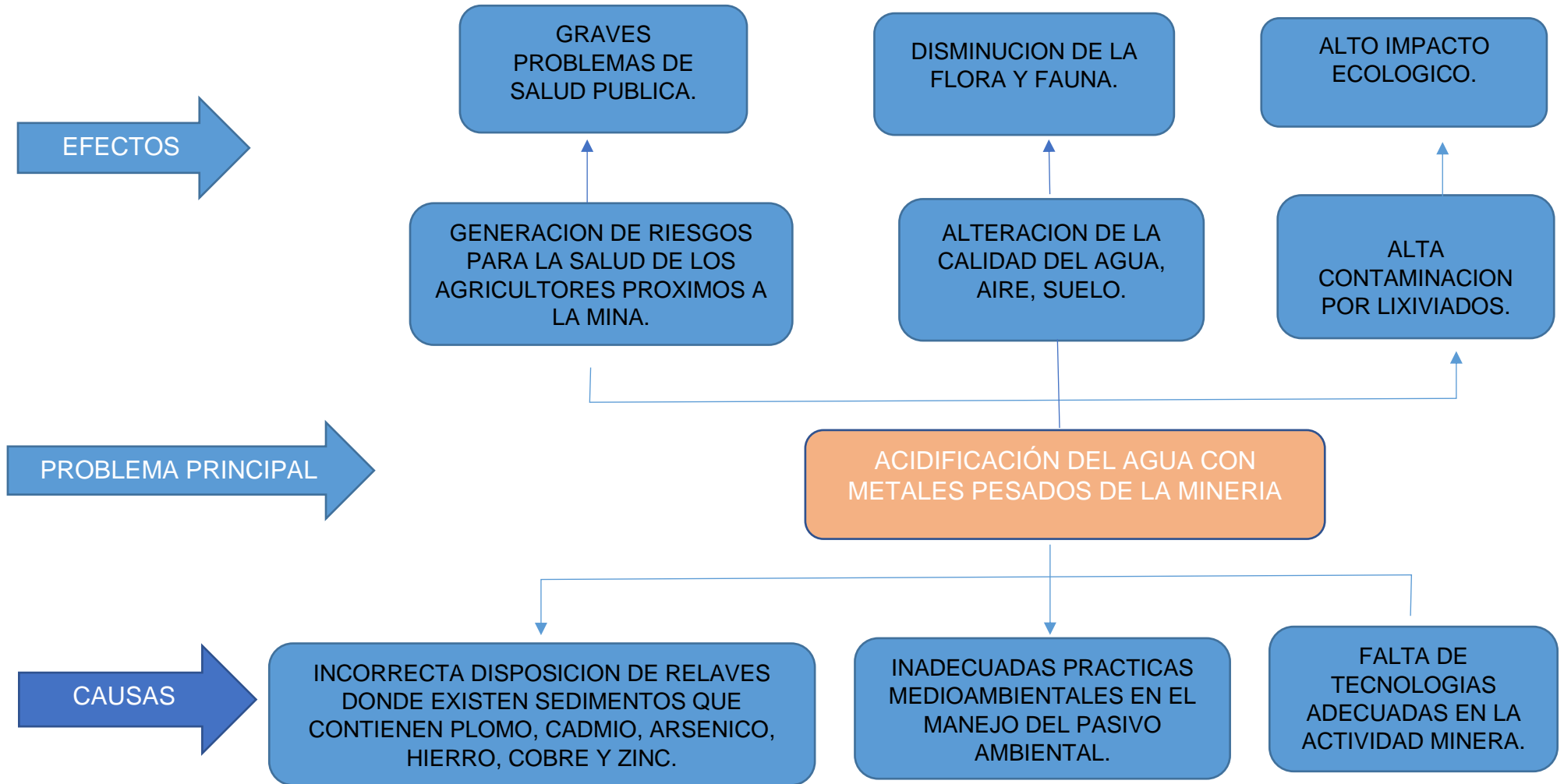
Título: “Efecto de la neutralización-precipitación química empleando Hipoclorito de Sodio y Óxido de Calcio, en la remoción de metales pesados en las aguas acidas del pasivo ambiental, distrito de Simón Bolívar – Pasco 2021”

Tesista: Bach. Vargas Baldeon, Alexandra.

Problema general	Objetivo general	Hipótesis	Variables/Indicadores	Metodología
¿Cuál es el efecto de la neutralización-precipitación química empleando hipoclorito de sodio y óxido de calcio, en la remoción de metales pesados en las aguas acidas del pasivo ambiental?	Determinar el efecto de la neutralización-precipitación química empleando hipoclorito de sodio y óxido de calcio, en la remoción de metales pesados en las aguas acidas del pasivo ambiental.	La neutralización-precipitación química empleando hipoclorito de sodio y óxido de calcio, tiene efecto favorable en la remoción de metales pesados en las aguas acidas del pasivo ambiental.	Variable independiente: Neutralización – precipitación química. -Hipoclorito de sodio (NaClO) -Óxido de calcio (CaO)	Tipo: Experimental, cuantitativo y longitudinal analítico. Enfoque: Cuantitativo Nivel: Experimental.
Problemas específicos	Objetivos específicos		Variable dependiente: Metales pesados presentes en las aguas acidas.	Diseño: Experimental cuantitativo, prospectivo, longitudinal y analítico. Población: Toda el agua del drenaje acido de mina del pasivo ambiental. Muestra: 30 litros de agua acida.
¿Los parámetros físicos, tendrán una variación después del uso de los reactivos neutralizadores?	Analizar la variación de los parámetros físicos después del uso de los reactivos neutralizadores.			
¿Los parámetros químicos, tendrán una variación después del uso de los reactivos neutralizadores?	Analizar la variación de los parámetros químicos después del uso de los reactivos neutralizadores.			
¿Es posible determinar las características técnicas del pasivo ambiental minero?	Determinar el área de influencia y caracterizar el pasivo ambiental minero.			

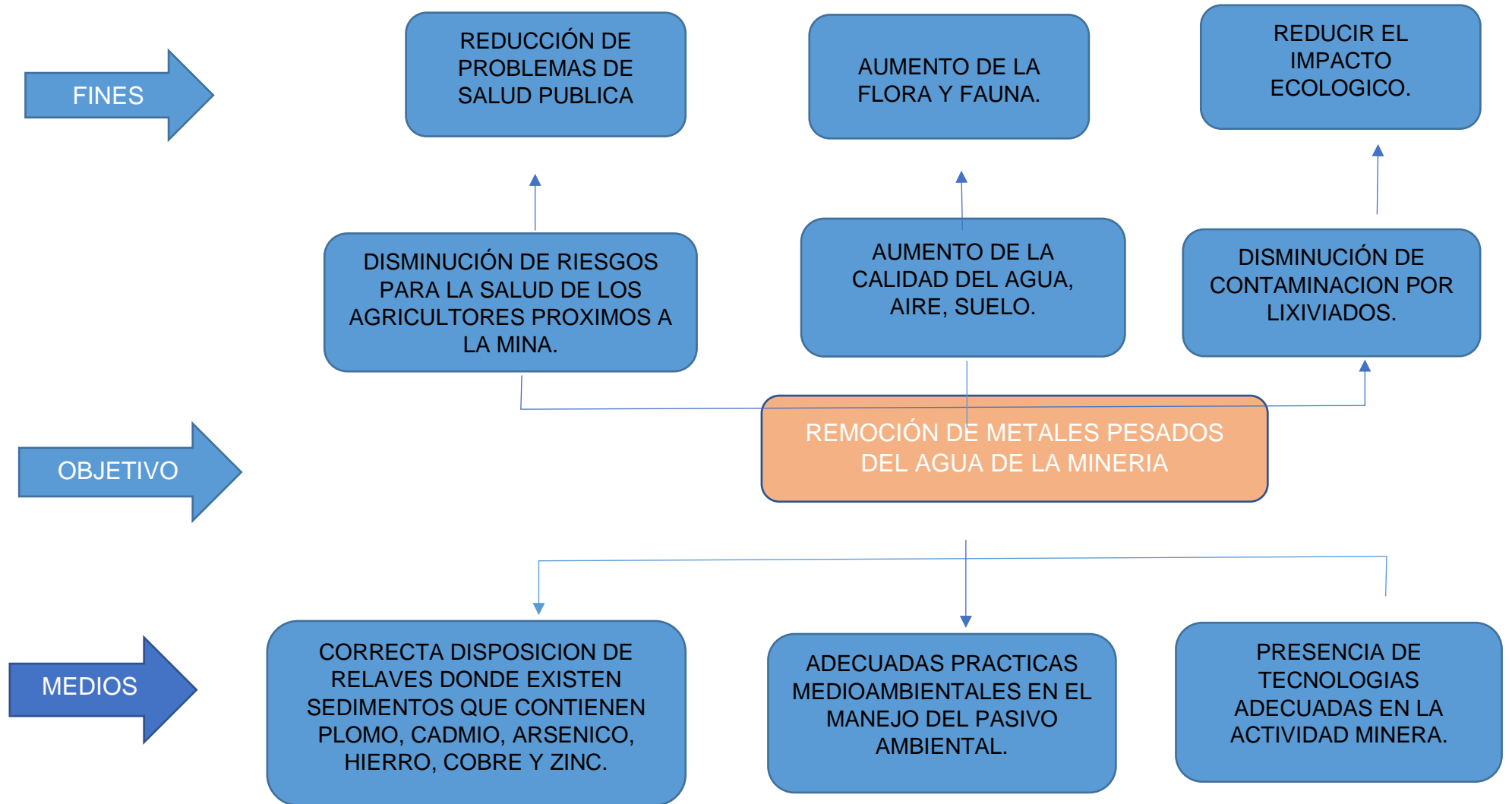
ANEXO 2

Diagrama de causas y efectos



ANEXO 3

Diagrama de medios y fines



ANEXO 4

Registro de datos en campo

ANEXO 4

Registro de datos en campo

REALIZADO POR:

Alexandra Vargue Baldeón

Punto de monitoreo	Descripción origen/ubicación	Localidad	Distrito	Provincia	Departamento	Coordenadas ¹		Fecha	Hora	pH	Observaciones
						Norte/Sur	Este/Oeste				
L-QU-01	Laguna guturizaca	Autolacand	San Miguel	Pasco	Cajamarca	8°16'53"	76°0'21"	4/11/2010	10:00	2.60	Distrito accesible
L-QU-02	Laguna guturizaca	Autolacand	San Miguel	Pasco	Cajamarca	8°16'43"	75°59'25"	4/11/2010	10:30	2.60	Distrito accesible

ANEXO 5

Etiqueta para muestra de agua

ANEXO 5 Etiqueta para muestra de agua

Solicitante/cliente: <i>Alexandra Vargas Baldeón</i>			
Nombre de laboratorio: <i>Laboratorio de análisis de suelos, agua y ecotoxicología</i>			
Código punto de monitoreo: <i>Punto 1 L-01-01</i>			
Tipo de cuerpo de agua: <i>Laguna</i>			
Fecha de muestreo: <i>04/11/2021</i>			Hora:
Muestreado por: <i>Alexandra Vargas Baldeón</i>			<i>12:00</i>
Parámetros requeridos: <i>pH, conductividad eléctrica, Zn, cobre, plomo, hierro</i>			
Preservada:	<input type="checkbox"/> SÍ	<input checked="" type="checkbox"/> NO	Tipo reactivo:

Solicitante/cliente:			
Nombre de laboratorio:			
Código punto de monitoreo:			
Tipo de cuerpo de agua:			
Fecha de muestreo:			Hora:
Muestreado por:			
Parámetros requeridos:			
Preservada:	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO	Tipo reactivo:

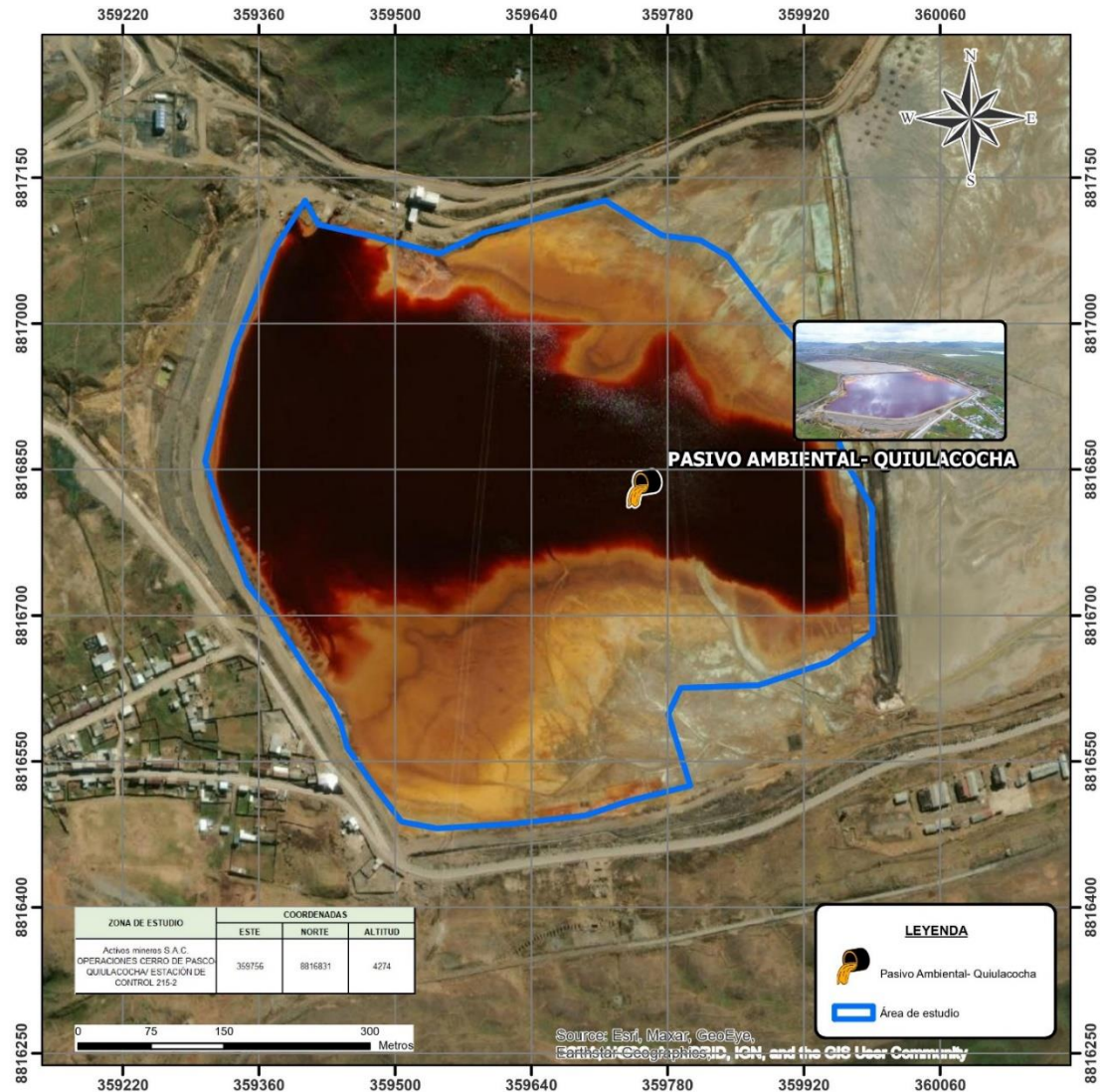
Solicitante/cliente:			
Nombre de laboratorio:			
Código punto de monitoreo:			
Tipo de cuerpo de agua:			
Fecha de muestreo:			Hora:
Muestreado por:			
Parámetros requeridos:			
Preservada:	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO	Tipo reactivo:

ANEXO 6

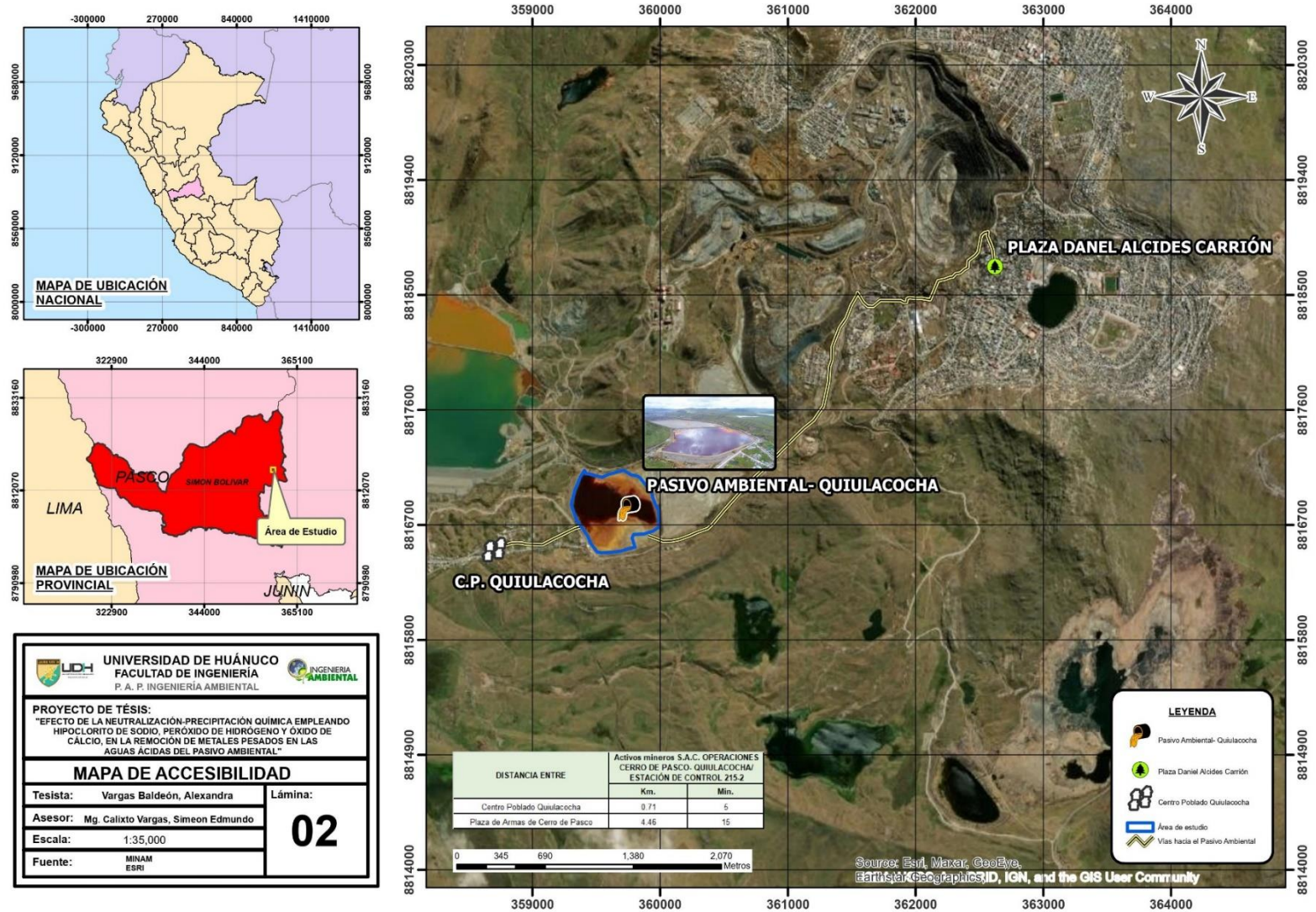
Mapa de Ubicación



<p>UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO FACULTAD DE INGENIERÍA P. A. P. INGENIERÍA AMBIENTAL</p>	
<p>PROYECTO DE TESIS: "EFECTO DE LA NEUTRALIZACIÓN-PRECIPITACIÓN QUÍMICA EMPLEANDO HIPOCLORITO DE SODIO, PEROXÍDO DE HIDRÓGENO Y ÓXIDO DE CÁLCIO, EN LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN LAS AGUAS ÁCIDAS DEL PASIVO AMBIENTAL"</p>	
<p>MAPA DE UBICACIÓN</p>	
<p>Tesista: Vargas Baldeón, Alexandra</p>	<p>01</p>
<p>Asesor: Mg. Calixto Vargas, Simeon Edmundo</p>	
<p>Escala: 1:5,500</p>	
<p>Fuente: MINAM ESRI</p>	



ANEXO 7 Mapa de Accesibilidad



ANEXO 8

Inventario de Pasivos Ambientales Mineros 2016

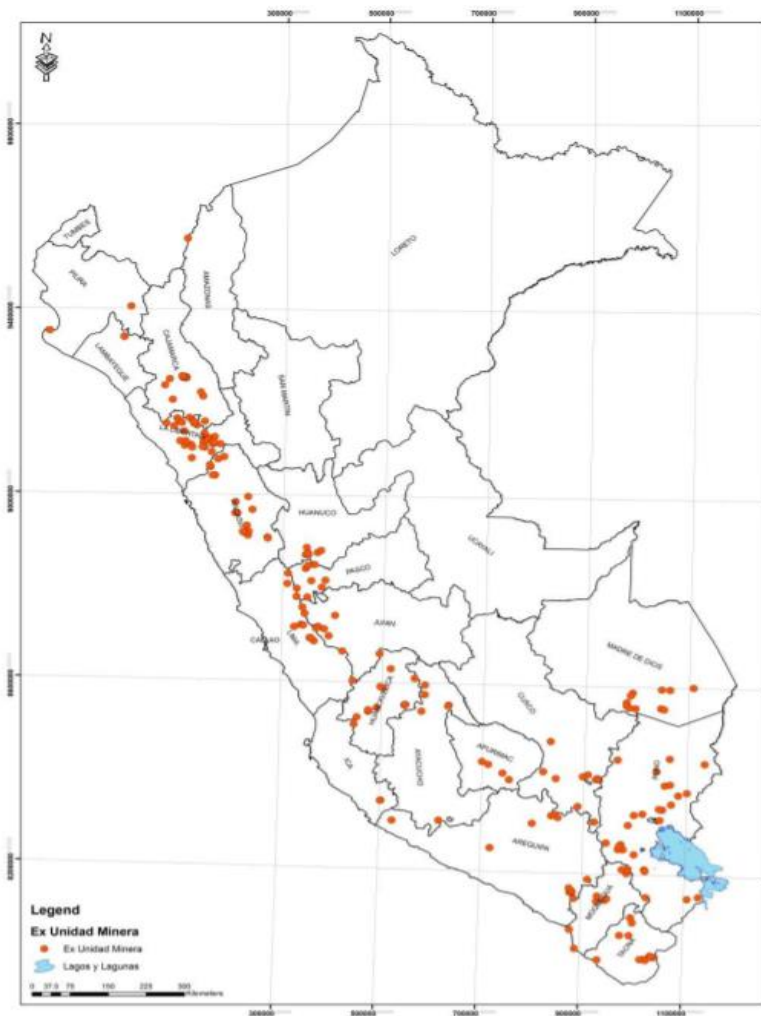
SE TIENE UN TOTAL DE 892 Ex UNIDADES MINERAS
DISTRIBUIDAS A LO LARGO DEL TERRITORIO NACIONAL CON
8,854 PAMS

REGIÓN	Total EUM	Total PAMs
AMAZONAS	4	157
ANCASH	110	1284
APURIMAC	24	149
AREQUIPA	44	376
AYACUCHO	55	98
CAJAMARCA	43	1183
CUSCO	38	304
HUANCAVEL	81	911
HUANUCO	34	301
ICA	30	123
JUNIN	62	716
LA LIBERTAD	39	492
LAMBAYEQU	2	4
LIMA	84	693
MADRE DE D	21	22
MOQUEGUA	29	128
PASCO	104	575
PIURA	2	24
PUNO	56	1129
SAN MARTIN	1	1
TACNA	29	184
TOTAL	892	8854



PERÚ

Ministerio
de Energía y Minas



ANEXO 9

Pasivo Ambiental Quiulacochoa



ANEXO 10

Panel Fotografico

Fotografia 1: Observación del lugar y toma de muestras.



Fotografia 2: Medición del pH del agua acida de la Laguna Quiulacocha.



Fotografía 3: Etiquetado y rotulado de las muestras iniciales.



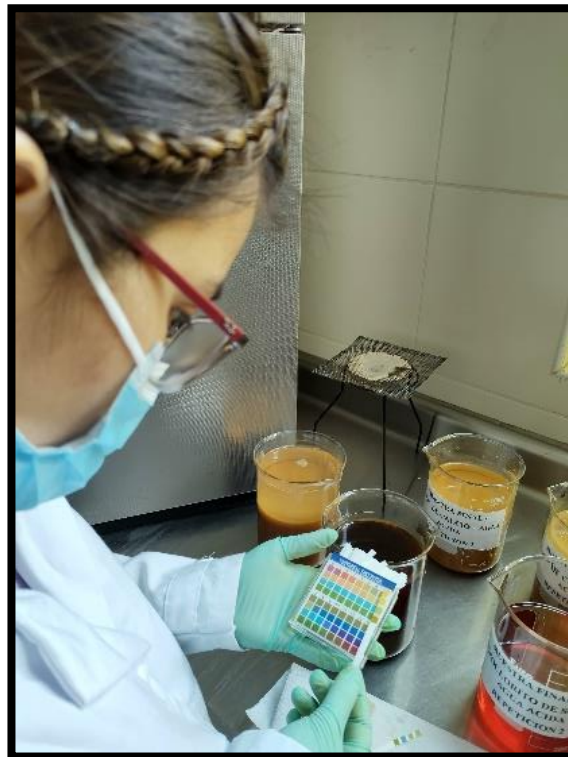
Fotografía 4: Elaboración de lechada de cal.



Fotografía 5: Se agrega gradualmente la solución de lechada de cal en cada vaso precipitado.



Fotografía 6: Adaptación y lectura del pH.



Fotografía 7: El Hipoclorito de Sodio se agrego gradualmente a cada vaso precipitado.



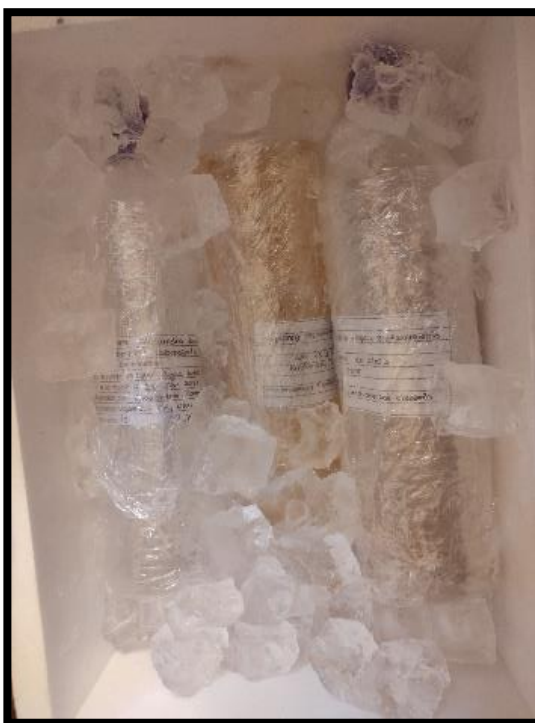
Fotografía 8: Las soluciones resultantes de Óxido de calcio y Hipoclorito de sodio antes de dejarlas reposar.



Fotografía 9: Las soluciones resultantes finales de Óxido de calcio y Hipoclorito de sodio después de dejarlas reposar.



Fotografía 10: Las muestras finales se almacenan en un cooler para ser enviadas al laboratorio.





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

Carretera Central km 1.21 Tingo María - WhatsApp 944407531

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE:	VARGAS BALDEON ALEXANDRA
PROCEDENCIA:	LAGUNA QUIULACOCHA - PASCO
PROYECTO:	PROYECTO: "EFECTO DE LA NEUTRALIZACIÓN-PRECIPITACIÓN QUÍMICA EMPLEANDO HIPOCLORITO DE SODIO Y OXIDO DE CALCIO, EN LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN LAS AGUAS ACIDAS DEL PASIVO AMBIENTAL QUIULACOCHA, DISTRITO DE SIMÓN BOLIVAR, PASCO - 2021"

Datos de la Muestra			pH	C.E. (mS/cm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Fe (ppm)
Codigp del Laboratorio	Codigo Monitoreo	Tipo						
M 1020-0	PUNTO1 - L-QUI-01	AGUA ACIDA DEL PASIVO AMBIENTAL	2.62	18.44	19.78	5.69	0.36	978.36

Recibo N°: 001-0632059

Muestreado por: Alexandra Vargas Baldeón

Fecha de monitoreo: 04/11/2021

Hora de monitoreo: 12:00 m.



Tingo María 22 de Noviembre del 2021


 Mónica Miranda
 E.F.F.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

Carretera Central km 1.21 Tingo María - WhatsApp 944407531

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE:	VARGAS BALDEON ALEXANDRA
PROCEDENCIA:	LAGUNA QUIULACOACHA - PASCO
PROYECTO:	PROYECTO: "EFECTO DE LA NEUTRALIZACIÓN-PRECIPITACIÓN QUÍMICA EMPLEANDO HIPOCLORITO DE SODIO Y OXIDO DE CALCIO, EN LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN LAS AGUAS ACIDAS DEL PASIVO AMBIENTAL QUIULACOACHA, DISTRITO DE SIMÓN BOLIVAR, PASCO - 2021"

Datos de la Muestra			pH	C.E. (mS/cm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Fe (ppm)
Codigp del Laboratorio	Codigo de Monitoreo	Tipo						
M 1020-6	PUNTO 2 L- QUI- 02	AGUA ACIDA + HIPOCLORITO DE SODIO - R1	3.67	39.45	0.0120	1.887	0.071	0.570
M 1020-7	PUNTO 2 L- QUI- 02	AGUA ACIDA + HIPOCLORITO DE SODIO - R2	3.53	39.41	0.0200	1.882	0.068	0.574
M 1020-8	PUNTO 2 L- QUI- 02	AGUA ACIDA + HIPOCLORITO DE SODIO - R3	3.69	39.52	0.0190	1.893	0.076	0.569
M 1020-9	PUNTO 2 L- QUI- 02	AGUA ACIDA + HIPOCLORITO DE SODIO - R4	3.70	39.39	0.0230	1.874	0.062	0.579
M 1020-10	PUNTO 2 L- QUI- 02	AGUA ACIDA + HIPOCLORITO DE SODIO - R5	3.56	39.54	0.0100	1.879	0.058	0.563

Recibo N°: 001-0632059

Muestreado por: Alexandra Vargas Baldeón

Tingo María 22 de Noviembre del 2021

Fecha de monitoreo: 05/11/2021

Hora de monitoreo: 12:30 p.m.




 Mg. Luz Magsilla Mincaya
 JEFE



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

Carretera Central km 1.21 Tingo María - WhatsApp 944407531

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE:	VARGAS BALDEON ALEXANDRA
PROCEDENCIA:	LAGUNA QUIULACocha - PASCO
PROYECTO:	PROYECTO: "EFECTO DE LA NEUTRALIZACIÓN-PRECIPITACIÓN QUÍMICA EMPLEANDO HIPOCLORITO DE SODIO Y OXIDO DE CALCIO, EN LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN LAS AGUAS ACIDAS DEL PASIVO AMBIENTAL QUIULACocha, DISTRITO DE SIMÓN BOLIVAR, PASCO - 2021"

Datos de la Muestra			pH	C.E. (mS/cm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Fe (ppm)
Codigp del Laboratorio	Codigo Monitoreo	Tipo						
M 1020-1	PUNTO 1 L- QUI-01	AGUA ACIDA + OXIDO DE CALCIO - R1	9.43	2.62	0.0011	0.022	0.129	0.040
M 1020-2	PUNTO 1 L- QUI-01	AGUA ACIDA + OXIDO DE CALCIO - R2	9.47	2.79	0.0010	0.014	0.122	0.037
M 1020-3	PUNTO 1 L- QUI-01	AGUA ACIDA + OXIDO DE CALCIO - R3	9.51	2.40	0.0011	0.019	0.112	0.043
M 1020-4	PUNTO 1 L- QUI-01	AGUA ACIDA + OXIDO DE CALCIO - R4	9.39	2.55	0.0012	0.010	0.124	0.028
M 1020-5	PUNTO 1 L- QUI-01	AGUA ACIDA + OXIDO DE CALCIO - R5	9.54	2.47	0.0011	0.026	0.131	0.034

Recibo N°: 001-0632059

Muestreado por: Alexandra Vargas Baldeón

Fecha de monitoreo: 05/11/2021

Hora de monitoreo: 12:00 m.



Tingo María 22 de Noviembre del 2021

Magsilla Magsilla
 Tingo María



METODOS ANALÍTICOS

CARACTERÍSTICA	MÉTODO	CARACTERÍSTICA	MÉTODO
EXTRACTO	VIA HUMEDA DIGESTIÓN ACIDA - SNP	HUMEDAD	ESTUFA 105° C MEMERT ALEMANIA
DETERMINACIÓN DE MACROELEMENTOS: Ca, Mg, K, Na	EAA VARIAN ALEMANIA	CENIZAS	MUFLA 660° C THERM CONCEPT ALEMANIA
DETERMINACIÓN DE FÓSFORO	METAVANADATO ESPECTRO UV VISIBLE - THERMO SCIENTIFIC USA	DETERMINACIÓN DE MICROELEMENTOS: Fe, Mn, Zn, Cu	EAA VARIAN ALEMANIA
DETERMINACION DE AZUFRE	TURBIDIMETRIA DEL SULFATO DE BARIO ESPECTRO UV VISIBLE - THERMO SCIENTIFIC USA	DETERMINACION DE BORO	COLORIMETRIA CON AZOMETINA-H ESPECTRO UV VISIBLE - THERMO SCIENTIFIC USA
CADMIO TOTAL Y PLOMO TOTAL	EAA VARIAN ALEMANIA	NIQUEL TOTAL	KJENDHAL BUCHI ALEMANIA
CARBONATOS	NEUTRALIZACION ACIDA HCl 0.5N NaOH 0.25N	NITRÓGENO AMONICAL Y DE NITRATOS	NTE INEN 0226: FERTILIZANTES.
PH	SOLUCIÓN PH-METRO SARTORIUS ALEMANIA	CLORO	EXTRACCIÓN CON AGUA Y TITULACIÓN POTENCIOMETRICA

