

**UNIVERSIDAD DE HUANUCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**TESIS**

---

**“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE DOLOMITA E HIPOCLORITO DE SODIO EN LA PRECIPITACIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS ÁCIDAS PROCEDENTES DE LA MINA VOLCAN (LAGUNA YANAMATE), EN EL DISTRITO DE TINYAHUARCO, PASCO – 2021”**

---

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

**AUTOR: Tarazona Tarazona, Lucy Nelly**

**ASESOR: Bonifacio Munguía, Jonathan Oscar**

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2022**

# U

# D

# H

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

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

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** Biotecnología y Nanotecnología**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** (2020)**CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:****Área:** Ingeniería, Tecnología**Sub área:** Ingeniería Ambiental**Disciplina:** Ingeniería ambiental y geológica**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): 47109683

**DATOS DEL ASESOR:**

Documento Nacional de Identidad (DNI): 46378040

Grado/Título: Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental

Código ORCID: 0000-0002-3013-8532

**DATOS DE LOS JURADOS:**

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Cuba Tello, Maria Vanessa	Magister en gestión integrada en seguridad, salud ocupacional y medio ambiente	41273158	0000-0002-1799-3542
2	Morales Aquino, Milton Edwin	Maestro en ingeniería, con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	44342697	0000-0002-2250-3288
3	Torres Marquina, Marco Antonio	Ingeniero metalurgista	22514557	0000-0003-4006-7683



# UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

## 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 19:30 horas del día 24 del mes de febrero 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:

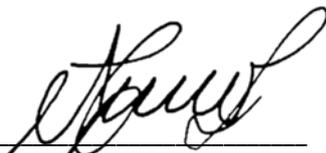
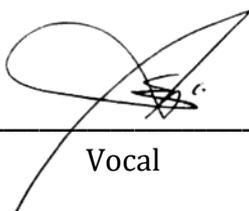
- Mg. Maria Vanessa Cuba Tello (Presidente)
- Mg. Milton Edwin Morales Aquino (Secretario)
- Ing. Marco Antonio Torres Marquina (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N°340-2022-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE DOLOMITA E HIPOCLORITO DE SODIO EN LA PRECIPITACIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS ÁCIDAS PROCEDENTES DE LA MINA VOLCAN (LAGUNA YANAMATE), EN EL DISTRITO DE TINYAHUARCO, PASCO - 2021”**, presentado por el (la) Bach. **Lucy Nelly TARAZONA TARAZONA**, 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, declarándolo(a) **APROBADA** por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 16 y cualitativo de BUENO (Art. 47).

Siendo las 21:02 horas del día 24 del mes de febrero del año 2022, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

  
\_\_\_\_\_  
Presidente  
\_\_\_\_\_  
Secretario  
\_\_\_\_\_  
Vocal

## DEDICATORIA

A Dios, por la salud, vida y bendición para cumplir mis anhelos y metas como persona y profesional.

A mis padres por su amor, comprensión, apoyo incondicional y por ser mi sustento para poder culminar mi carrera profesional.

A mis amigos que siempre han estado en cada proceso, por esos ánimos para seguir siempre en cada meta.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por la sabiduría e impulso para mis metas, por su fidelidad en cada instante de mi existencia y por darme una excelente familia.

A mis padres, siendo ellos el motivo y apoyo para seguir adelante en mis metas y anhelos. Y mi familia por su apoyo total.

Al Mg. Bonifacio Munguía, Jonathan Oscar, por su disposición, apoyo y guía como asesor durante todo el proceso de este trabajo de investigación.

Al Blgo. Alejandro Duran Nieva por su dedicación y apoyo con todas las facilidades y conocimientos previos que facilitaron el trabajo de investigación.

A mis amigas, las mejores personas que conozco y sus constantes ánimos y maravillosos deseos en todo lo que me propongo profesionalmente.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE .....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
CAPÍTULO I.....	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	14
1.2.1. Formulación del problema general.....	14
1.2.2. Formulación de los problemas específicos .....	14
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	15
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	15
1.5.1. Justificación teórica.....	15
1.5.2. Justificación Práctica.....	16
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	16
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.7.1. Viabilidad ambiental .....	17
1.7.2. Viabilidad operativa.....	17
1.7.3. Viabilidad técnica .....	17
1.7.4. Viabilidad económica .....	17
CAPÍTULO II.....	18

MARCO TEÓRICO .....	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	18
2.2. BASES TEÓRICAS .....	25
2.2.1 Problemática de las aguas de mina.....	26
2.2.2 Drenaje ácido de mina (AMD) .....	27
2.2.4 Clasificación del AMD.....	30
2.2.5 Tratamiento del AMD.....	31
2.2.6 Sistemas de tratamiento activo .....	32
2.2.7 La dolomita y usos para tratar el drenaje ácido de mina AMD .....	32
2.2.8 Hipoclorito de sodio y usos para tratar el drenaje ácido de mina AMD .....	37
2.2.9 Mecanismos de Remoción de Metales Pesados .....	40
2.2.10. Monitoreo del agua.....	41
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES .....	47
2.4. HIPÓTESIS.....	47
2.4.1. Hipótesis General .....	47
2.4.2. Hipótesis Específicos .....	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 .....	51

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS...	52
3.3.1. Para la recolección de datos .....	52
3.3.2. Para la presentación de datos .....	54
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	54
CAPÍTULO IV.....	55
RESULTADOS.....	55
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS .....	55
4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	61
CAPÍTULO V.....	66
DISCUSION DE RESULTADOS.....	66
CONCLUSIONES .....	69
RECOMENDACIONES.....	70
ANEXOS .....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales.....	31
Tabla 2 Información General de la Dolomita: Formula Química: CaMg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .....	35
Tabla 3 Propiedades físicas para el Hipoclorito de Sodio.....	38
Tabla 4 Sustancias incompatibles con el Hipoclorito de Sodio .....	39
Tabla 5 Descriptivos del pH antes y después de la aplicación de los tratamientos .....	55
Tabla 6 Descriptivos de la materia orgánica antes y después de la aplicación de los tratamientos.....	56
Tabla 7 Descriptivos del magnesio antes y después de la aplicación de los tratamientos .....	57
Tabla 8 Descriptivos del plomo antes y después de la aplicación de los tratamientos .....	58
Tabla 9 Descriptivos del hierro antes y después de la aplicación de los tratamientos .....	59
Tabla 10 Descriptivos del zinc antes y después de la aplicación de los tratamientos .....	60
Tabla 11 Prueba de normalidad de los datos usando Kolmogorov-Smirnov.61	
Tabla 12 Prueba estadístico ANOVA.....	62
Tabla 13 Interpretación del pH en función de la temperatura media de 25 °C .....	63
Tabla 14 Interpretación del promedio de la concentración de plomo (Pb) antes y después de la intervención .....	64
Tabla 15 Interpretación del promedio de la concentración de hierro (Fe) antes y después de la intervención .....	64
Tabla 16 Interpretación del promedio de la concentración de zinc (Zc) antes y después de la intervención .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Etapas en la formación de aguas ácidas .....	29
Figura 2 Estructura de la dolomita .....	34
Figura 3 Reacción química del Dolomita – hipoclorito de sodio en el agua..	51
Figura 4 Descriptivos del pH antes y después de la aplicación de los tratamientos .....	55
Figura 5 Descriptivos de la materia orgánica antes y después de la aplicación de los tratamientos.....	56
Figura 6 Descriptivos del magnesio antes y después de la aplicación de los tratamientos .....	57
Figura 7 Descriptivos del plomo antes y después de la aplicación de los tratamientos .....	58
Figura 8 Descriptivos del hierro antes y después de la aplicación de los tratamientos .....	59
Figura 9 Descriptivos del zinc antes y después de la aplicación de los tratamientos .....	60

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por **objetivo** determinar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de dolomita e hipoclorito de sodio en la precipitación de metales pesados en aguas acidas procedentes de la mina Volcan en la laguna Yanamate, Pasco 2021. La **metodología** fue de tipo experimental, en la que se aplicaron 50 gr y 100 gr de dolomita, 50 ml y 100 ml hipoclorito de sodio respectivamente en 5 repeticiones con muestras de aguas acidas. **Resultados** para cada grupo operacional el pH se mantiene en acido por debajo del rango equivalente a 3, con el tratamiento 100 gr de dolomita se redujo el plomo de 0.3200 ppm a 0.0060 ppm, el hierro de 245.8930 ppm a 0.4009 ppm y el zinc de 7.0391 ppm a 3.4221 ppm Así mismo, el tratamiento con dosis de 100 ml hipoclorito de sodio se obtuvo la reducción de plomo inicial 0.3200 ppm a 0.0013 ppm, reducción de hierro de 245.8930 ppm a 0.2665 ppm, reducción de zinc de 25.8074 ppm a 3.4221 ppm siendo esta más efectiva que el tratamiento antes mencionado. Por tal se **concluye** que tanto la Dolomita e Hipoclorito de sodio tuvieron efecto sobre el pH del agua acida además de la precipitación de metales pesados (plomo, hierro y zinc).

**Palabras claves:** Dolomita, agua acida, metal pesado y pasivo ambiental.

## ABSTRACT

The objective of this research work was to determine the effect of the application of different doses of dolomite and sodium hypochlorite on the precipitation of heavy metals in acidic water from the Volcan mine in the Yanamate lagoon, Pasco 2021. The methodology was experimental, in which 50 g and 100 g of dolomite, 50 ml and 100 ml of sodium hypochlorite were applied respectively in 5 replicates with acidic water samples. The results for each operating group pH remain in acid below the range equivalent to 3, with respect to lead reduction from 0.3200 ppm to 0.0060 ppm, iron reduction from 245.8930 ppm to 0.4009 ppm, zinc reduction from 7.0391 ppm to 3.4221 ppm for the treatments with 100 g of dolomite. Initial lead reduction from 0.3200 ppm to 0.0013 ppm, iron reduction from 245.8930 ppm to 0.2665 ppm, zinc reduction from 25.8074 ppm to 3.4221 ppm with 100 ml dose of sodium hypochlorite was more effective in all replicates. It is concluded that both dolomite and sodium hypochlorite influenced the pH of acidic water in addition to the precipitation of heavy metals (lead, iron and zinc).

**Key words:** Dolomite, acid water, heavy metals, and environmental liabilities.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad una de las principales actividades que contaminan grandes masas de agua es la minera, puesto que el Perú es un país donde se desarrollan en gran manera esta actividad, dejando consigo no solo la sobreexplotación del suelo, sino también la contaminación del agua. La actividad minera además deja consigo pasivos ambientales que son un peligro para el bienestar humano y del medio ambiente.

La laguna Yanamate en Cerro de Pasco, recibe vertimiento de las actividades mineras realizadas por la compañía minera Volcan luego de procesos de refinamiento de metales pesados como hierro, cobre, plomo y zinc. “Debido a la elevación del nivel de agua ocasionado por el vertimiento de aguas ácidas en la Laguna Yanamate, ésta se ha unido con la Laguna Huaygacocha, formando un solo cuerpo de agua Superficial” (Volcan Minera, 2010).

Por tal, en el estudio se plantea el uso de dos tratamientos como alternativa para mitigar ciertos impactos causados por pasivos ambientales de minería a necesidad de un sistema efectivo de neutralización tales como la dolomita e hipoclorito de sodio, para reducir el nivel de concentraciones de los metales pesados.

Para alcanzar los objetivos propuestos se realizó la siguiente estructura comprendidos con cinco capítulos, enfocados a diferentes aspectos:

Capítulo I - El planteamiento del problema de la investigación; comprendido de: descripción, formulación, objetivos, justificación, limitaciones y viabilidad.

Capítulo II - El marco teórico que guio la tesis; el que inicia con los antecedentes a nivel internacional, nacional y local, luego presenta las bases teóricas de las variables, las principales conceptualizaciones, la formulación de hipótesis, variables y Operacionalización.

Capítulo III - Metodología de la investigación, muestra el tipo, nivel enfoque, alcance, de la tesis, por su parte también se estableció la población

- muestra, técnicas - instrumentos de medición y las técnicas para la presentación de los datos.

Capítulo IV - Los resultados obtenidos de la investigación son presentados mediante el procesamiento de datos y la contratación de hipótesis propuesta.

Capítulo V- Por último, presentan las discusiones de resultados obtenidos, luego las referencias bibliográficas, conclusiones y recomendaciones.

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

“La minería es una actividad industrial con mayor grado de manipulación del agua, pues, lo emplean en un gran número de operaciones y, por otro con sus excavaciones generan grandes volúmenes fundamentalmente por infiltración de los acuíferos interceptados y de la escorrentía superficial. Como consecuencia de esto en todos los proyectos mineros es preciso contemplar los medios necesarios para el control y evacuación del agua fuera de las áreas de laboreo” Barbaro, 2017.

La contaminación del agua de mina se debe en general a la introducción de sustancias o de ciertas formas de energía como el calor, que provocan cambios en sus características físicas y químicas. “La acidificación de las aguas de mina crea numerosos problemas, ya que en contacto con el aire producen la oxidación química y biológica de los sulfuros, dando como resultado el incremento de la acidez en el medio”.

En el departamento de Pasco, Perú, la actividad minera constituye la principal actividad económica, generando hace décadas contaminantes ambientales como relaves mineros, aguas ácidas, impactando negativamente los cuerpos de agua de cabecera de cuenca, como las lagunas altoandinas, ríos y lagos.

“Existe una preocupación por la contaminación del agua en la laguna Yanamate por la presencia de metales pesados. La laguna Yanamate ubicado en el distrito de Tinyahuarco, era una laguna natural que fue usada como depósitos de AMD, desde 1981”, la empresa Minera del Centro del Perú (Centromín); Señalo que la laguna es disipada por los desechos secos y pulverizados están expuestos al aire y al viento que los transportan y lo depositan en otras áreas, más o menos cercana, dependiendo de la intensidad y dirección del viento.

Desde 1981, la empresa Minera del Centro del Perú (Centromín) manifestó la importancia el estudio de alternativas para la neutralización y

remoción de metales pesados presentes en aguas ácidas de la laguna Yanamate con tecnologías de fácil manejo y bajo costo. El tratamiento de remediación con dolomita es un método alternativo de precipitación y purificación de drenajes ácidos de mina. La dolomita es un mineral no metálico de carbonato doble de calcio y magnesio ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), que se comporta como un efectivo reactivo de remediación, debido a las propiedades fisicoquímicas de la neutralización de la acidez, así como la adsorción de iones metálicos disueltos en las aguas ácidas.

D.S N° 004-2017-MINAM; “Que declara que las concentraciones de los metales pesados, tales como el Cobre, Plomo, Hierro, Cadmio, Arsénico y Zinc deben lograr niveles por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua”; ya que la dolomita como agente remediante en muestras de aguas ácidas de la laguna Yanamate neutralizar y reducirla acides.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Formulación del problema general**

- ¿Qué efecto producen la aplicación de diferentes dosis de dolomita e hipoclorito de sodio en la precipitación de metales pesados en aguas acidas procedentes de la mina Volcán en la laguna Yanamate, Pasco 2021?

### **1.2.2. Formulación de los problemas específicos**

- ¿Cuáles son las características químicas de agua acida en la laguna Yanamate, con la aplicación de diferentes dosis de dolomita?
- ¿Cuáles son las características químicas de agua acida en la laguna Yanamate, con la aplicación de diferentes dosis de Hipoclorito de Sodio?
- ¿En qué medida favorece cada dosis de dolomita para precipitar metales pesados del agua acida en la laguna Yanamate?
- ¿En qué medida favorece cada dosis de Hipoclorito de sodio para precipitar metales pesados del agua acida en la laguna Yanamate?

### **1.3. OBJETIVO GENERAL**

- Determinar el efecto la aplicación de diferentes dosis de dolomita e hipoclorito de sodio en la precipitación de metales pesados en aguas acidas procedentes de la mina Volcán en la laguna Yanamate, Pasco 2021.

### **1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el efecto de la aplicación de las diferentes dosis de dolomita, sobre las características químicas de agua acida en la laguna Yanamate.
- Determinar el efecto la aplicación de diferentes dosis de Hipoclorito de Sodio, sobre las características químicas de las aguas acidas en la laguna Yanamate.
- Determinar cuál es la dosis más apropiada de dolomita, para precipitar metales pesados del agua acida en la laguna Yanamate.
- Determinar cuál es la dosis más apropiada de Hipoclorito de Sodio, para precipitar metales pesados del agua acida en la laguna Yanamate

### **1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.5.1. Justificación teórica**

En la laguna Yanamate se han desarrollado diversos estudios para el tratamiento de las aguas ácidas de tanto a nivel laboratorio, como ensayos de campo. Entre las alternativas más empleadas tenemos la utilización de agentes que incorporen iones (como la lechada de cal, el hidróxido de sodio, carbonato de sodio y el hidróxido de amonio) que servirán para la alcalinización del efluente.

Sin embargo, estos tratamientos son costosos para la puesta en marcha o estos procesos no han demostrado ser lo suficientemente efectivos para dar respuesta a la problemática ambiental ocasionada por la Minería en la cual es de precisa urgencia buscar otras alternativas viables y económicas para recuperar dicho cuerpo de agua.

### **1.5.2. Justificación Práctica**

La realización del proyecto de tesis es una alternativa de solución que constituya un eficaz método de remediación de drenajes ácidos de mina basado en el empleo de la dolomita, que permita reducir las concentraciones de metales pesados presente en la laguna Yanamate y la neutralización de esta.

Cabe resaltar que este tratamiento es considerado como una alternativa de solución a la generación de efluentes metalúrgicos por el empleo de la dolomita e hipoclorito de sodio (NaCl), que se comporta como un efectivo reactivo de remediación, debido a las propiedades fisicoquímicas de la neutralización de la acidez de aguas ácidas, así como la adsorción de iones metálicos disueltos en las aguas ácidas.

Para dicho fin se solicitó el permiso de manera virtual a la mina Volcan, en el área de pasivo ambientales porque se está viviendo una pandemia y solo atienden de manera virtual, ya que cada año se realiza dicho análisis para la comparación de los resultados y así mitigar los pasivos ambientales.

### **1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

En el desarrollo de la investigación se presentaron las siguientes limitaciones:

- Escasez bibliográfica sobre composición y estructura de la Dolomita.
- Faltas de instrumentos de medición para algunos parámetros como turbiedad.
- Insuficiencia y reducción de los recursos económicos, que limitaron las actividades.
- Las condiciones climáticas dificultaran en la toma de muestra de agua de la laguna Yanamate.

## **1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación fue viable porque se contó con los equipos necesarios y personal competente para su ejecución.

### **1.7.1. Viabilidad ambiental**

Se tuvo una viabilidad ambiental porque las precipitaciones de aguas ácidas procedentes de la mina volcán en la laguna Yanamate, se encuentra en el ambiente y se puede obtener una muestra del mismo lugar.

### **1.7.2. Viabilidad operativa**

Se contó con los recursos necesarios de operatividad para realizar el estudio ya que se analizó las necesidades que pueden llegar a cumplirse a través de la idea propuesta. Además, medir en qué grado el sistema propuesto resuelve problemas y si se aprovecha de las oportunidades.

### **1.7.3. Viabilidad técnica**

Las muestras se llevaron a un laboratorio certificado por (INACAL) para la determinación de metales pesados en aguas ácidas. Como son los procesos para la recolección, el análisis físico químico y la interpretación de la muestra, lo cual se cuenta con el conocimiento técnico establecido para dicho estudio.

### **1.7.4. Viabilidad económica**

Para el desarrollo del proyecto de investigación fue viable ya económicamente la ejecución del proyecto fue cubierta por el investigador.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

Toapanta & Valarezo (2019), en su tesis: Síntesis de espinela ferrita aplicada en la remoción de plomo y cadmio de aguas residuales. tuvo como **objetivo** la obtención de ferrita de manganeso para su aplicación como material adsorbente en la remoción de plomo (II) y cadmio (II) en soluciones acuosas. Para el desarrollo de la **metodología**; La ferrita de manganeso se sintetizó a partir de cloruro férrico hexahidratado y sulfato de manganeso; éste, se obtuvo a un pH de 10.5 a temperatura de 80°C. Para el estudio de adsorción del material, se realizaron los siguientes ensayos: estudio de pH, estudio de equilibrio, cinético y reusabilidad del material. Las condiciones para realizar los ensayos de adsorción fueron a temperatura del laboratorio (25°C), dosis 1 g/L, tiempo de contacto 24 horas, agitación 150 rpm. La caracterización del material consistió en análisis espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y potencial de carga cero (pH<sub>pzc</sub>). Se realizó la determinación de pH<sub>pzc</sub> de la ferrita de manganeso obteniéndose como **resultados** pH 7.9; mientras que el análisis FTIR se determinó los principales grupos funcionales presentes en el material. De la misma manera, se realizó un estudio de pH, con la finalidad de saber en qué pH se da el mayor porcentaje de adsorción, para esto se realizaron experimentos en rangos de pHs de 2 a 7 por triplicado para cada metal, en el cual se determinó el pH óptimo para Pb<sup>2+</sup> fue de 5.5 y 7.0 para Cd<sup>2+</sup>. Los datos de isotermas fueron ajustados a los modelos no lineales de Langmuir y Freundlich, donde el mejor ajuste fue realizado con el modelo de Freundlich para el caso de Pb<sup>2+</sup>, y Langmuir para Cd<sup>2+</sup>, con una capacidad máxima de adsorción (q<sub>max</sub>) de 69.39 mg/g y un coeficiente de correlación R<sup>2</sup> = 0.86312 para Pb<sup>2+</sup>, mientras que para Cd<sup>2+</sup> se obtuvo una capacidad máxima (q<sub>max</sub>) de 471.78 mg/g con un coeficiente de correlación R<sup>2</sup> = 0.97835. Para el estudio de cinética el Pb<sup>2+</sup> se ajustó al modelo de Pseudo de segundo orden con R<sup>2</sup> = 0.92695, y para

$\text{Cd}^{2+}$  se ajustó al modelo de Pseudo de primer orden con  $R^2= 0.92344$ . Además, se realizaron ensayos de reusabilidad del material con el fin de determinar cuántas veces se puede reutilizar la ferrita de manganeso en la remoción de  $\text{Pb}^{2+}$  y  $\text{Cd}^{2+}$ , este material puede ser reutilizado hasta 2 ciclos, a partir del ciclo 3 presento un porcentaje menor al 50 por ciento al utilizar como desorbente  $\text{HCl}$  0.1M. **Concluyendo** que el trabajo de investigación experimental permitió la síntesis y aplicación del material absorbente basado en ferrita de manganeso, siendo este muy eficiente en la remoción de metales pesados, como el plomo y cadmio en comparación con otros nanomateriales magnéticos.

Zamora (2017), en su trabajo de investigación: Síntesis de zeolitas a partir de jales de cobre para la remoción de metales y amonio presentes en agua. Tuvo como **objetivo** sintetizar zeolitas a partir de jales mineros, para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados. Con base en la información reportada en esos estudios se planteó la **metodología** de este trabajo que se presenta a continuación la primera parte del estudio experimental fue la caracterización de la muestra de jal de cobre, para lo cual se determinó del contenido de óxidos (fluorescencia de rayos X), las fases mineralógicas (difracción de rayos X) y el contenido de metales (espectroscopía de absorción atómica). Esta caracterización permitió estimar el potencial de aprovechamiento de los jales en la síntesis de zeolitas. De acuerdo con la caracterización, se implementó el proceso de síntesis que consistió en dos etapas: a) fusión de jal/ $\text{NaOH}$  y b) cristalización en medio hidrotermal. Las pruebas se realizaron siguiendo un diseño experimental de tipo central compuesto con tres variables experimentales: temperatura de síntesis, tiempo de síntesis y relación sólido/líquido; y un factor de respuesta, la capacidad de intercambio catiónico. Una vez determinadas las condiciones óptimas para sintetizar zeolitas, se procedieron a evaluar a éstas para la remoción de  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  presentes en agua, en diferentes concentraciones. Las pruebas de remoción de metales se realizaron en sistema discontinuo (batch) donde se evaluó la cinética de remoción y el equilibrio. Los resultados experimentales se evaluaron con los modelos cinéticos de pseudo segundo orden y con los modelos de isothermas de

langmuir y de freundlich. **Resultados**; la caracterización permitió establecer que los jales de cobre contienen 63-69% de  $\text{SiO}_2$  y 18-19% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , principalmente en forma de cuarzo (52.5%), hidroxisilicato de potasio, magnesio, aluminio y silicio (20%) e illita (9%). de acuerdo con la cantidad de cuarzo, se optó por implementar la etapa de fusión (cantidad de  $\text{Jal-NaOH}$ , 1g -1.0243 g; temperatura de fusión  $900^\circ\text{C}$ , tiempo de fusión, 2 horas), previa a la cristalización de las zeolitas en medio hidrotermal. se logró obtener hasta un 94% de zeolita P (figura 1) mediante las siguientes condiciones de síntesis: temperatura de síntesis,  $60^\circ\text{C}$ ; tiempo de síntesis, 66 h y relación sólido/líquido, 0.18 g/ml. **Concluyendo**; la zeolita P podría utilizarse en el mismo complejo minero para recuperar Cu e incorporarlo al proceso de refinamiento de este. por otra parte, el DAM libre de estos principales cationes, se podría reutilizar en el proceso de extracción primaria de cobre sin afectar el rendimiento de este.

Ahmad Kamal & Gooyong, (2020), en su trabajo de investigación: Eliminación de metales pesados seleccionados en el drenaje ácido de minas mediante el método de precipitación química - Universiti Teknologi MARA Shah Alam. Tuvieron por **objetivo** Eliminar de metales pesados seleccionados en el drenaje ácido de minas mediante el método de precipitación química, en la **metodología**, el uso insuficiente del suelo y la topografía inadecuada en la actualidad dificulta la aplicación del tratamiento pasivo. Por esa razón, Se han realizado pruebas por lotes para estudiar la difusión de álcalis en diferentes longitudes y concentraciones de membranas cerámicas modificadas. Se identificaron la superficie óptima y la concentración alcalina para desarrollar el experimento de tratamiento semi-pasivo. Se había realizado un experimento de columna para estudiar la eficacia del tratamiento semi-pasivo para la neutralización de AMD. Los **resultados** mostraron que la difusión química aumentó con el aumento de la concentración alcalina y las diferentes áreas superficiales también influyeron en la velocidad de difusión. La alcalinidad total de 20 g es la más alta en comparación con 5 g a 40250 mg / l y 23750 mg / l, respectivamente. El área de superficie más grande hace que las partículas alcalinas se esparzan fácilmente. Por lo tanto, la membrana cerámica de 8 cm proporciona la mayor

superficie en comparación con la membrana cerámica de 2 cm. Los resultados del muestreo y análisis del efluente tratado diariamente durante un período de 4 meses muestran las eficiencias del experimento de la columna para aumentar el pH y la alcalinidad, eliminar  $\text{SO}_4^{2-}$  y metales pesados seleccionados del efluente. Como el tiempo de duración del semi-pasivo depende de la concentración alcalina en la columna, sufre limitaciones una vez que el material alcalino se utiliza por completo. Concluyendo que los experimentos de columna mostraron un alto porcentaje de remoción de metales pesados, con valores de remoción de cadmio, ferum, manganeso y zinc de 22,73%, 93,24%, 88,88% y 98,50%, respectivamente. Se debe realizar una investigación exhaustiva a fondo para obtener el rendimiento y la caracterización óptimos del tratamiento semi-pasivo para la DMAE mediante el uso de diferentes medios como absorbentes, como el poliuretano o el carbón activado.

### 2.1.2. Antecedentes Nacionales

Sevillano (2017), en su tesis: Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio, tuvo como **objetivo** evaluar la eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco ubicada en Cerro de Pasco a nivel laboratorio. En la **metodología** se tomó una muestra de 14 litros de agua ácida, la cual fue preservada hasta llegar al laboratorio para su tratamiento; el pH se midió in situ, donde alcanzó 2.88, indicando la acidez alta del agua. Los parámetros fueron analizados en el laboratorio de Calidad del UCV Lima Este, siendo las concentraciones iniciales de 0.17 mg/L de plomo, 1616.44 mg/L de sulfatos, 2833.33 mg/L de sólidos suspendidos, 8798.67 uS/cm de conductividad, mostrando que superaban ampliamente los Estándares de Calidad Ambiental de agua Categoría 3: agua para riego de vegetales. La investigación fue de tipo explicativo con un diseño metodológico experimental de carácter cuasi experimental; realizando una pre y post prueba, se usó el diseño Completamente al Azar con tres tratamientos: tratamiento 1: dosis – 6 g/L  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , Tratamiento 2: dosis – 8 g/L  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  Tratamiento 3: dosis – 10 g/L  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  con tres repeticiones y un vaso como unidad experimental. Los **resultados** obtenidos fueron que el hidróxido de

calcio es eficiente en la neutralización de la acidez en los tres tratamientos de 4.8, 5.9 y 7.25 de pH respectivamente y con 10 g/l removi6 en un 52.82% de plomo, 99.96% de s6lidos suspendidos y 99.42% s6lidos disueltos. Se **concluy6** que a eficiencia en los tratamientos T1, T2, y T3 fue 57.78 %, 63.24 % y 74.08 % respectivamente, siendo el T3 el m6s eficiente en la remoci6n de los par6metros fisicoqu6micos.

Berrospi (2019), en su tesis: Remoci6n de metales pesados presentes en las aguas 6cidas de la laguna Yanamate mediante la aplicaci6n de la dolomita como agente remediante a escala experimental. Tuvo por **objetivo** Determinar la eficiencia de remoci6n de los metales pesados en las aguas 6cidas de la laguna Yanamate mediante la aplicabilidad de la dolomita como agente remediante. Para la **metodolog6a** en los puntos de monitoreo ya identificados se monitoreo los par6metros f6sicos y asimismo se tom6 como muestra de las aguas 6cidas 15 litros por cada punto de monitoreo, posteriormente se traslad6 estas muestras para nuestros ensayos con la aplicaci6n de la dolomita a nivel de laboratorio, los **resultados** obtenidos Al aplicar la dolomita en nuestro trabajo experimental con pruebas de 10 y 25 g de dolomita para 500 ml de aguas 6cidas, donde el pH inicial medido en P-1 era 1.91 y en P-2 era 1.96, con la aplicaci6n de la dolomita mejor6. III Con la dosificaci6n de 25 g de dolomita en el P-1 mejor6 hasta lograr un pH 7.19 y en el caso P-2 tambi6n mejor6 llegando a un pH 7.35. Por lo tanto, con la dosis de 25 g de dolomita es adecuado para 500 ml de aguas 6cidas con pH menores de 2. Con respecto a los metales totales antes de la aplicaci6n de la dolomita superaba en gran parte el ECA-Categor6a 4, con 25 g de dolomita, en el P-1 descendió mucho m6s el contenido de Plomo, Hierro, Cobre, Zinc, en 0.0006 mg/Lt, 0.3002 mg/Lt, 0.03452 mg/Lt, 8.1359 mg/Lt, respectivamente, para el caso del P-2 descendió el plomo, Hierro, Cobre, Zinc, en 0.0021mg/Lt, 0.2449 mg/Lt, 0.02479 mg/Lt, 6.7898 mg/Lt, respectivamente. Por lo tanto, la dosis de 25 g de dolomita es adecuado para 500 ml de aguas 6cidas para cumplir los ECA -Categor6a 4. **Concluyendo** que, la dolomita ha demostrado ser eficiente alcanzando porcentajes de remoci6n de metales, con 25 g de dolomita, en P-1, 96.16% de plomo, 99.85% de Hierro, 99.32% de Cobre y

59.32% de Zinc, y en el caso de P-2 el porcentaje de remoción fue de 99.68% de plomo, 99.88% de hierro, 99.12% de Cobre y 66.05% de Zinc.

Ruiz, (2018), en su tesis: Tratamiento de aguas acidas con dolomita para disminuir la concentración de Cu y Zn en efluentes de la planta concentradora victoria en la Provincia de Yauli – La Oroya. Tuvo como **objetivo** disminuir la concentración de Cu y Zn de las aguas acidas de los efluentes de la planta concentradora victoria en la Provincia de Yauli. Para la **metodología** se llevaron a cabo experimentos determinado las reducciones de las concentraciones de Cu y Zn presentes en las aguas ácidas desde un valor inicial de 42,270 ppm hasta 2,075 ppm y de 202,465 ppm hasta 5,53 ppm respectivamente. Se evaluó los tiempos de agitación para la disminución del Cu (II) obteniéndose el mejor **resultado** en un tiempo de 45 minutos con una remoción del 95,09% de Cu siendo este parámetro el de mayor influencia, para el Zn (II) también se obtuvo el tiempo de 45 minutos con mayor reducción obteniendo una remoción del 97,27% de Zn. Se utilizó tres dosis de dolomita 0,5 g, 1 g y 2 g, para evaluar su efecto sobre la remoción de Cu (II) y Zn (II), la dosis que disminuyo mayor concentración de Cu fue de 1g en comparación al Zn (II) que fue el de 2g, siendo la dosis el factor de mayor influencia en la remoción de Zn (II). **Concluyendo** que la dolomita posee la propiedad química de neutralizar, precipitar y adsorción de metales pesados disueltos en efluentes ácidos de mina, así como, posee la capacidad de amortiguamiento fuerte a la acidificación de las aguas en zonas mineras.

Chambi (2017), en su tesis: Evaluación de la Eficiencia de remoción de Sólidos Suspendidos totales Aplicando Dolomita y Sulfato de Calcio en el tratamiento de efluentes de la Minería Aluvial de Ananea, Puno. El **objetivo** fue evaluar la eficiencia de remoción de solidos suspendidos totales mediante la aplicación de dolomita y sulfato de calcio en el tratamiento de efluentes de la minería aluvial del distrito de Ananea. Para la **metodología** de la investigación se recolectó muestras de agua que fueron analizadas en el laboratorio de calidad ambiental de la escuela profesional de ingeniería sanitaria ambiental de la UANCV, el pH se determinó mediante un potenciómetro y los sólidos suspendidos totales con el método de diferencia de pesos. La dosis óptima de dolomita y sulfato de calcio se determinaron

mediante la prueba mecánica con diluciones de: 3, 5, 6, 7 y 10 g para la sedimentación de sólidos suspendidos totales. En los **resultados** se obtuvo una dosis de 7 g y 10 g de dolomita y sulfato de calcio; la dolomita logró remover un 92.37% y 92.37% de sólidos suspendidos totales respectivamente, el sulfato de calcio removió un 88.07% y 89.92% de sólidos suspendidos totales respectivamente presentes en efluentes de la tolva gravimétrica de la actividad minera aluvial. En **conclusión**, la dolomita con una dosis de 7 g es la más eficiente para remover el 92.37% de sólidos suspendidos totales en tanto que el sulfato de calcio con una dosis de 10 g removió el 89.92% de sólidos suspendidos totales, la capacidad de remoción del sulfato de calcio se encuentra por debajo del resultado de la dolomita

### 2.1.3. Antecedentes Locales

Basilio (2015), en su tesis: Influencia de la acidez en la remoción de plomo ( $Pb^{2+}$ ) utilizando dolomita como adsorbente. Tuvo por **objetivo** determinar la Influencia de la acidez en la remoción de plomo ( $Pb^{2+}$ ) utilizando dolomita como adsorbente. En la **metodología** del estudio evaluó la influencia de la acidez en la remoción de plomo ( $Pb^{2+}$ ) utilizando dolomita natural como adsorbente a escala de laboratorio. Se implementó un montaje experimental (sistema de columnas), conteniendo dolomita interconectadas en cuatro volúmenes iguales (20L.) a concentración constante de 50 ppm de  $Pb^{2+}$  pero usando 4 rangos distintos de pH en cada volumen. Se desarrolló un diseño experimental en 3 tratamientos y 3 repeticiones, le tomo un tiempo de 96 horas atravesar al agua contaminada el sistema. Las concentraciones finales, fueron denominadas por espectrofotometría de absorción atómica. Los **resultados** obtenidos fueron la reducción de la concentración de  $Pb^{2+}$  de 50 ppm a 2,893 ppm logrando un porcentaje de remoción de 94,21 %, hallado en el primer tratamiento (A1). Las propiedades alcalinas de la dolomita incrementaron el pH de las aguas ácidas de 1,5 a 8,11, también provocó la disminución del potencial redox (Eh), de oxidante a menos oxidante. Los resultados encontrados permiten **concluir**, que si influye la acidez en la remoción de plomo ( $Pb^{2+}$ ), que la acidez optima oscila entre un rango de 1,5 – 3,5 de pH y que la dolomita natural puede ser utilizada como adsorbente de plomo en el tratamiento de efluentes mineros ácidos con alto contenido de plomo ( $Pb^{2+}$ ).

## 2.2. BASES TEÓRICAS

Hoy en día, la minería ofrece en forma directa, mayores aportes en el logro de algunos objetivos que en otros, dentro de un plan de desarrollo. Aquellos objetivos en cuya consecución la minería desempeña un papel importante son: generación de divisas, capacidad de generación de ahorro, desarrollo industrial, contribución al fisco, estímulo de desarrollo regional, generación de empleo, distribución del ingreso e independencia económica.

Por sus características, la minería contribuye al desarrollo descentralizado impulsando obras de infraestructura, prestando servicios de vivienda, salud y educación y generando empleos en zonas que son en muchos casos de poco desarrollo (Dammert, 1981, p.30).

Por otro lado, la actividad minera también ha traído un efecto negativo al medio ambiente. Uno de los principales impactos generados en la minería de metales y carbón son los drenajes ácidos de mina (AMD). Estos elementos en altas concentraciones son nocivos para la actividad biológica, contamina los cursos de aguas y pueden llegar a causar daños a las estructuras construidas por el hombre (Medina Quispe, 2018, p. 23).

Se considera que los impactos potenciales asociados con el drenaje ácido de minas son unos de los mayores problemas ambientales enfrentados hoy por la industria minera. El no monitorear, recolectar y tratar adecuadamente el AMD puede llevar a la contaminación de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales resultando en un potencial para la degradación biológica significativa en el ambiente receptor (Villas-Boas et al., 2001, p. 2)

La laguna Yanamate no es ajena a este problema. Las operaciones mineras en Cerro de Pasco se iniciaron en el periodo Incaico y fueron continuadas durante el periodo Colonial sin existir registros precisos sobre las operaciones realizadas en esas épocas. En 1902 la empresa norteamericana Cerro de Pasco Copper Corporation adquiere las propiedades mineras e inicia la explotación de los minerales de cobre desarrollándose posteriormente la explotación de los minerales de plomo y zinc. En 1974, la empresa minera es

nacionalizada y se crea la Empresa Minera del Centro del Perú (Centromín) la cual toma control de las operaciones. En 1981 se inaugura la planta de extracción por solventes y electrodeposición para la producción de cátodos de cobre. Simultáneamente, se inicia el vertimiento de agua ácida y refinado hacia la Laguna Yanamate (Volcan Minera, 2010, p. 4).

En 1999, la unidad de Cerro de Pasco pasa a poder de la Compañía Minera Volcán S.A.A, hoy administrada por su subsidiaria Cerro S.A.C. la cual viene actualmente haciéndose cargo de las operaciones. El incremento de la velocidad de reacción de las aguas ácidas con los macizos de roca caliza ubicados en los lechos de la laguna Yanamate inicialmente actuaban como un agente neutralizador de las aguas ácidas por contener un suelo rico en caliza, sin embargo uno de los mayores problemas de la roca caliza es que han perdido sus propiedades físicas y químicas, y han dejado de reaccionar con el agua ácida dejando de neutralizar dichas aguas ácidas, esto producto de los niveles elevados de acidez y concentraciones de metales de las aguas provenientes de la mina, saturando por completo el agua de la laguna Yanamate (Mejia Cervantes, 2018, p. 33).

Hoy en día, la laguna Yanamate es un pasivo ambiental, establecido por la R.D N° 535-2019-OEFA/DFAI, Que establece que, la laguna Yanamate, es un depósito de aguas ácidas, esto es, aguas con Potencial de Hidrogeno (pH) ácido y contenidos metálicos; por lo que el efluente descargado se enmarca en las características en mérito al Decreto Supremo N° 142-81-AG, y no debe cumplir con los LMP. Lo cual representa el símbolo del desastre ecológico causado por la secular extracción de minerales en la zona de Cerro de Pasco. Áreas naturales, parte del frágil y único ecosistema andino, fueron convertidas en sitios sin vida. Son fuentes de riesgo altísimo y grave para la población, el ambiente y la biodiversidad por su alto grado de acidez y alta carga tóxica de metales pesados.

### **2.2.1 Problemática de las aguas de mina**

La minería es una de las actividades industriales con mayor grado de manipulación del agua, pues, por un lado, lo emplea en un gran número de

operaciones y, por otro con sus excavaciones genera grandes volúmenes fundamentalmente por infiltración de los acuíferos interceptados y de la escorrentía superficial. Como consecuencia de esto en todos los proyectos mineros es preciso contemplar los medios necesarios para el control y evacuación del agua fuera de las áreas de laboreo mediante bombeo y el empleo de adecuados sistemas de desagüe, así como la adopción de medidas de prevención de la contaminación de las mismas durante la explotación y abandono posterior (Aduvire, 2006, p. 3).

Por otro lado, las explotaciones mineras provocan ciertos efectos hidrológicos sobre las aguas subterráneas o superficiales, tales como:

- Disminución de la calidad del agua, haciéndola inadecuada para el consumo humano y otros usos.
- Causar daños ecológicos, alterando o eliminando las comunidades biológicas naturales existentes en los cursos de agua.
- Deterioro del paisaje, por lo que la restauración de las áreas afectadas debe abarcar todos los elementos del medio físico incluido en agua.

Si bien la actividad minera puede acelerar o incrementar el fenómeno de drenaje ácido, este es un fenómeno natural y su evidencia se encuentra en la geología de yacimientos naturales y se refleja también en la calidad de algunos cursos de agua naturales que atraviesan áreas en la que no ha existido nunca actividad minera (Gobierno de Chile, 2002, p. 8).

### **2.2.2 Drenaje ácido de mina (AMD)**

El drenaje ácido de mina (AMD) es la consecuencia de la oxidación de algunos sulfuros minerales (pirita, pirrotita, marcasita, etc.) en contacto con el oxígeno del aire y agua (Aduvire, 2006, p. 3). El AMD puede producirse cuando el proceso minero expone los residuos, las colas o los trabajos mineros que contienen cantidades de sulfuros reactivos.

La exposición de estos sulfuros reactivos al oxígeno y al agua puede resultar en la generación de ácido (Villas-Boas et al., 2001, p. 2).

Las reacciones fisicoquímicas de oxidación que producen el drenaje ácido pueden ser posteriormente aceleradas por la actividad biológica que involucra a bacterias. Estas reacciones químicas y biológicas pueden generar aguas ácidas que aumentan el potencial para la movilización de contaminantes (principalmente metales pesados) dentro de la solución. Las aguas ácidas resultantes del drenaje pueden contener elevadas cantidades de metales y sulfatos además de otros componentes lixiviables por ácido (Villas-Boas et al., 2001, p. 2).

La consecuencia directa de la actividad minera al llevar a cabo la explotación de un yacimiento es la geo disponibilidad de materiales hacia el medioambiente, al dejar disponibles ciertos elementos que antes no lo estaban, o lo estaban de forma mucho más limitada. Cabe destacar, no obstante, que muchos yacimientos minerales, particularmente los de menas sulfuradas, son en sí fuentes naturales de contaminación ambiental (Aduvire, 2006, p. 46).

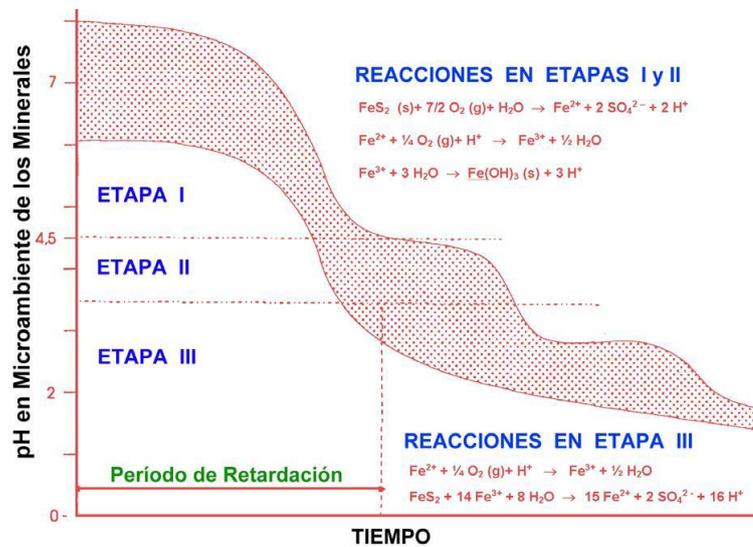
El origen de drenaje ácido de minas Según, Terence S. McCarthy (2011). Define que la pirita se oxida en un proceso de dos etapas, primero la producción de ácido sulfúrico y sulfato ferroso y el segundo hidróxido férrico rojo anaranjado y más ácido sulfúrico. Sin embargo, durante la minería y la extracción de minerales, la masa de roca se fragmenta ampliamente, lo que aumenta drásticamente el área de superficie y por lo tanto la tasa de producción es ácida. Esto se debe a que las rocas quedan descubiertas y expuestas al aire y al contacto directo con el agua, produciendo como consecuencia el drenaje ácido de mina.

### **2.2.3 Etapas de formación del AMD**

La generación de drenaje ácido se desarrolla en general siguiendo tres etapas en el tiempo, caracterizadas por el pH del agua en el microambiente de los minerales sulfurados. Estas tres etapas permiten comprender la evolución del drenaje ácido en el tiempo y su interpretación en el campo (Gobierno de Chile, 2002, p. 9) como se observa en la imagen.

**Figura 1**

*Etapas en la formación de aguas ácidas*



**Nota:** Aguas ácidas de mina, generación y tratamiento (Aduvire, 2006, p. 10).

- **1ª etapa:** La oxidación de minerales sulfurosos libera hierro ferroso que bajo condiciones neutras se oxida químicamente y se transforma a hierro férrico que precipita como hidróxido y aporta acidez al medio. En esta etapa del proceso la velocidad de oxidación es baja en los dos mecanismos de generación ácida (directa e indirecta) y la formación de aguas ácidas por oxidación debida al aire y a las bacterias (fundamentalmente *Thiobacillus ferrooxidans*) se producen a un ritmo semejante. Por lo general, la alcalinidad disponible en el medio es suficiente para neutralizar parcialmente la acidez que se ha producido lentamente (Aduvire, 2006, p. 10).
- **2ª etapa:** La acidez acumulada supera la capacidad de neutralización del medio y el pH desciende y predomina la oxidación de la pirita por la acción bacteriana. En la reacción se produce el sulfato ferroso que al ser oxidado nuevamente se transforma en sulfato férrico, y éste a su vez en contacto con el agua da lugar al ácido sulfúrico y al hidróxido férrico, que es insoluble y es el que provoca la coloración amarilla de las aguas. En esta etapa disminuye la eficacia del mecanismo directo (oxidación por el aire) y aumenta mucho la del indirecto (Aduvire, 2006, p.11).

- *3ª etapa:* Cuando el pH desciende por debajo de 3 en la proximidad de los granos de pirita (aproximadamente 4,5 en el agua), el ion férrico se ve afectada por las reacciones de oxidación-reducción y la acción bacteriana puede lixiviar el sulfuro de hierro directamente a sulfato. En esta etapa varía la generación de ácido al aumentar la solubilidad del hierro y disminuye la precipitación de hidróxido férrico. En resumen, el *Thiobacillus ferrooxidans* oxida el ion ferroso a férrico que a su vez oxida a los sulfuros (pirita) produciendo más ácido (Aduvire, 2006, p. 11).

En este momento se producen grandes cantidades de ácido y se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- El mecanismo más importante es el indirecto, ya que es el que se autocataliza (si se inhibe la bacteria *Thiobacillus ferrooxidans* la producción de ácido se reduce al menos en un 75%).
- Si el pH del agua sube por encima de 5, igualmente se inhibe la oxidación.
- Si el pH del agua desciende por debajo de 4,5 debe esperarse que todo el sulfuro de hierro termine oxidándose.
- Si el pH desciende por debajo de 2,5 se establece un equilibrio en el que la actividad bacteriana se estabiliza, ya que habrá alcanzado su óptimo de desarrollo (la velocidad de reacción se habrá incrementado entre 105 y 106 veces respecto al mecanismo directo). (Aduvire, 2006, p. 11)

#### **2.2.4 Clasificación del AMD**

Depende de varios factores la clasificación de los drenajes de mina en una investigación clasifico al AMD en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales.

**Tabla 1**

*Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales*

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

**Nota:** Clasificación de acuerdo con su clase y pH para poder describir los efectos que ocasionan (Aduvire, 2006, p. 3).

### 2.2.5 Tratamiento del AMD

Generalmente los procesos de tratamientos de drenajes ácidos se basan en la eliminación y el aislamiento de metales y aniones metálicos de las aguas. Algunos de ellos incluyen las técnicas de precipitación que suelen ser bastante efectivas para conseguir la calidad deseada de los efluentes. Cualquier tipo de vertido de efluentes de mina debe garantizar que éstos sean estables, que no reaccionarán ni química ni biológicamente con los elementos naturales del entorno y que no producirán daños al medio ambiente (Aduvire, 2006, p. 79).

El tratamiento del drenaje ácido de mina (AMD) puede ser por métodos físicos, químicos y/o métodos biológicos, el modo y aplicación de procesos de tratamiento puede ser por neutralización - precipitación, siendo este método el más usado en la industria minera de tratamiento de AMD (Inga Blancas,

2011). La remediación de efluentes en minería, se pueden clasificar en abióticas y biológicas dentro de las cuales encontraremos los sistemas activos y sistemas pasivos que a continuación se describen.

### **2.2.6 Sistemas de tratamiento activo**

Este proceso comprende la neutralización del efluente ácido proveniente de las operaciones de minería y beneficio a través de la adición de álcalis tales como cal, piedra caliza, soda cáustica y carbonato de sodio, coagulantes inorgánicos y floculantes orgánicos, obteniéndose un agua que cumple con los estándares de la legislación nacional y lodos de composición química muy estables. “El tratamiento activo es la mejora de la calidad del agua mediante métodos que requieren de la participación de fuentes de energía artificiales y/o activos (bio) químicos” (Inga Blancas, 2011).

Requiere de operación y mantenimiento continuo; el objetivo es controlar la generación o migración de AMD mediante la aplicación de tecnologías de neutralización y precipitación de metales pesados, la tecnología demostrada es la neutralización química (adición de Dolomita) (Acevedo, 2015, p. 25) existen otras tecnologías como son:

- Absorción del Carbón.
- Intercambio Iónico.
- Osmosis Reversible.
- Electrodialisis
- Ozonización
- Bio reactores para reducción de sulfato.

Estas tecnologías son relativamente costosas debido a la infraestructura, operación y mantenimiento (Acevedo, 2015, p. 41).

### **2.2.7 La dolomita y usos para tratar el drenaje ácido de mina AMD**

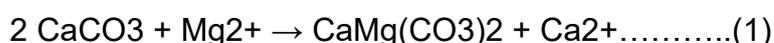
- **Dolomita:** Es un mineral compuesto por carbonato de calcio y magnesio que fue descubierto por el geólogo francés Déodat Gratet de Dolomieu. (B, 2017), que fue quien en los Alpes franceses descubrió y anotó la no efervescencia en HCl en frío de una roca calcárea. Y en

cuyo honor se le da el nombre de Dolomita al mineral. Como mineral carbonatado, la Dolomita es un carbonato de calcio y magnesio  $[\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2]$ , que se forma por la sustitución e intercambio iónico de un catión  $\text{Ca}^{2+}$  por otro catión  $\text{Mg}^{2+}$  en los carbonatos cálcicos. Suele asociarse a calcita, cuarzo y minerales de arcilla y en este sentido es complicada de identificar. (Howard, et al, 2018).

Es un mineral bastante común en las rocas sedimentarias continentales y marinas, se puede encontrar en capas de varios cientos de metros, y es uno de los minerales más difundidos en las rocas sedimentarias carbonatadas; se forma por la acción del agua rica en magnesio, sobre depósitos calcáreos, en donde se produce una progresiva sustitución del calcio por el magnesio; a este proceso se le denomina dolomitización, y es un caso concreto de los procesos de sustitución en general o metasomatismo (sustitución de una sustancia por otra), también se forma por actividad hidrotermal (Lucas & Romero, 2015, p. 44).

- **Dolomitización**

Las dolomitas se originan como consecuencia de procesos post sedimentarios: las calizas, formadas por los procesos antes descritos, pueden ponerse en contacto con aguas enriquecidas en magnesio, lo que da origen al proceso llamado de Dolomitización, ecuación 1: (Bruce Howard, et al, 2018).

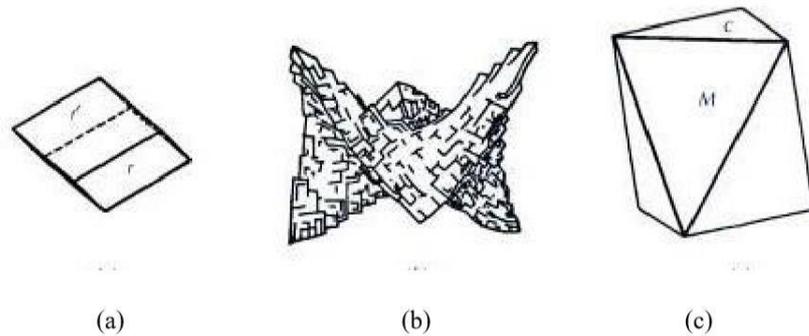


- **Estructura de los minerales del grupo de la dolomita**

Morfología: Normalmente se presenta en cristales romboédricos y por lo general estos cristales son de hábito deformado, muy aplastados, curvos en forma de silla de montar o en formas masivas, compactas o bien en forma de pequeñas geodas (en dolomías). (Desarrollo Minero, 2013)

**Figura 2**

*Estructura de la dolomita*



**Nota:** Los cristales están formados generalmente por el romboedro fundamental (imagen. a). Otras veces por un romboedro agudo y una base (imagen c). Caras curvas con frecuencia, algunas tanto que forman cristales en forma de silla de montar (imagen b). Las otras formas son raras, aparecen en masas exfoliables granuladas gruesas o finas y compactas (Lucas & Romero, 2015, p. 44).

- **Propiedades Fisicoquímicas de la dolomita**

La Dolomita, también conocida como caliza de magnesio, es un carbonato doble de calcio y magnesio, su fórmula química es  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Por lo general este mineral reacciona levemente al aplicársele ácido clorhídrico diluido al 5% pero en forma distinta que el carbonato de calcio puro. La Dolomita es más que una simple variante de caliza, contiene el 30.41% de CaO, 21.86% de MgO y el 47.73% de  $\text{CO}_2$ , en su forma más pura. (Bruce Howard, et al, 2018).

Su color varía entre blanco, gris rosado, rojizo, negro, a veces con matices amarillento, parduzco o verdusco, predominando el incoloro o blanco grisáceo. Presenta un aspecto vítreo a perlado y es de transparente a translúcida. Tiene una dureza de 3.5 a 4, un peso específico de 2.9 g/cm<sup>3</sup> y forma la roca denominada dolomita. (Desarrollo Minero, 2013).

Las propiedades fisicoquímicas que posee la dolomita son neutralización de las aguas ácidas, adsorción de metal pesado en solución y sedimentación de metal pesado en suspensión. Los adsorbentes como la dolomita, separan los sólidos por atracción superficial y permiten su fácil filtración. Estas sustancias de carácter

químico sirven para separar impurezas en dispersión por emulsión que no pueden sedimentarse ni ceden a la centrifugación. (Guerra & Hiyagon, 2012, p. 117).

Otra propiedad importante es que permite reducir otras sustancias contaminantes como arseniatos, antimoniatos, sólidos en suspensión y otros. (Bruce Howard, et al, 2018).

**Tabla 2**

*Información General de la Dolomita: Formula Química: CaMg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>*

<b>Composición:</b>	<b>Porcentaje:</b>	<b>Peso Molecular= 184.40 g</b>
<b>Calcio</b>	21.73% Ca	30.41% CaO
<b>Magnesio</b>	13.18% Mg	21.86% MgO
<b>Carbono</b>	13.03% C	47.73% CO <sub>2</sub>
<b>Oxígeno</b>	52.06% O	
	100.00%	100.00 % =Total de óxidos
<b>Formula Empírica:</b>	CaMg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	
<b>Grupo Mineral:</b>	Carbonatos	
IMA Status: Especie válida (Pre-IMA) desde 1791		
Localidad: Véneto y Trentino-Aito Adagio, Alpes Italianos.		
Nombre Original: Llamada así en honor al geólogo francés Deodat Dolomieu quien la descubrió. Sistema cristalino: Trigonal		
Clase: Romboédrico 3		
Parámetros de celda: a= 4.8012A, c= 16.002A		
Cociente: a: e= 1: 3.333		
Volumen: V= 319.45 A <sup>3</sup> (calculado para la celda unitaria)		
Color: blanco, gris rosado o negro, pero predomina el incoloro o blanco grisáceo.		
Densidad: 2.8- 3.1 g/cm <sup>3</sup>		
Promedio = 2.84 g/cm <sup>3</sup>		

**Nota:** Estos datos son los establecidos por la Sociedad Internacional de Mineralogía IMA (Hall, 2015)

- **Yacimientos de la Dolomita en Perú**

La dolomita aparece principalmente en masas rocosas extensas formando las calizas dolomíticas y su equivalente cristalino, el mármol dolomítico. Se supone generalmente que la dolomita, como roca, es de origen secundario, formado a partir de la caliza ordinaria, reemplazando parte de Ca por Mg. El reemplazamiento puede ser solamente parcial y así la mayor parte de las rocas dolomíticas son mezclas de dolomita y calcita. También aparece como mineral filoniano hidrotérmico, principalmente en los filones de plomo y zinc que atraviesan las calizas, asociado a fluorita, calcita, baritina y siderita.

(Lucas & Romero, 2015, p. 44). El yacimiento de la dolomita natural se encuentra comprendido entre la cordillera central y oriental de la parte central del Perú. (Romero, y otros, 2010).

La dolomita marmolizada llamadas también Pre mesozoicas, se presentan en varios lugares de la Cordillera de la Costa en el Departamento de Ica. Se les utiliza como piedra ornamental y se les podría aprovechar por su composición química. La dolomita en el Departamento de Ica, se encuentra el gran yacimiento de magnetita de Marcona (Flores Chávez, 2009).

Yacimientos de dolomita se encuentran en Pacasmayo, Bagua y Rioja, Lima y Junín. (Guerra & Hiyagon, 2012, p. 117)

Tingo María. Existe compañía Dolomita Amazónica. Tingo María se encuentra en la llanura de Selva. (Flores Chávez, 2009)

El mineral de la zona de Arequipa contiene esencialmente sólo Dolomita, calcita y sílice, preferiblemente, por lo menos 98% del mineral de tipo de Arequipa que será Dolomita, calcita y sílice, y de preferencia por lo menos 99% del mineral será Dolomita y sílice. (Bruce Howard, y otros, 2018)

- **Principales usos**

Los usos de la dolomita dependen principalmente de sus propiedades físicas y químicas. De acuerdo con sus propiedades físicas la podemos usar como piedra para edificios; por sus propiedades químicas las podemos usar en la manufactura de cementos Portland o cal; plásticos; pinturas; polvos para dientes; antiácido; en la eliminación de dióxido de azufre de los gases de combustión y producción de dióxido de carbono; entre otros. (Desarrollo Minero, 2013)

- Agricultura: La dolomita puede ser usada como un neutralizante para la acidez del suelo y para neutralizar la acidez resultante del uso de tales fertilizantes como urea. (Flores Chávez, 2009). Constituye un fertilizante indispensable al modificar el PH del suelo, logrando regular su acidez, mejorándolo e incrementando el rendimiento de los cultivos. (Bruce Howard, y otros, 2018).

- En la industria del vidrio: La dolomita se utiliza principalmente en la manufactura de vidrio plano, donde el óxido de magnesio actúa como estabilizador para mejorar la resistencia general del vidrio al ataque natural o químico ocasionado por gases o humedad. (Desarrollo Minero, 2013).
- En la industria química para la preparación de sales de magnesio y como mena de magnesio (Mg) metálico. Como material de construcción, para cementos especiales y como piedra ornamental; de interés científico y coleccionista; es un excelente aislante térmico y es utilizada también para desacidificar el agua. (Bruce Howard, y otros, 2018).

### **2.2.8 Hipoclorito de sodio y usos para tratar el drenaje ácido de mina AMD**

- DESCRIPCIÓN: El Hipoclorito de Sodio se puede preparar en forma anhidro, con una pureza superior al 90%, pero se descompone con facilidad al cabo de pocos días, en ocasiones con fuerza explosiva. También forma un monohidrato que es difícil de obtener puro. Otros de sus hidratos tienen fórmula molecular  $\text{NaOCl} \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ , y se trata de un compuesto cristalino tetragonal, que tiene poca estabilidad para su uso comercial. El Hipoclorito de Sodio pentahidratado,  $\text{NaOCl} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , tiene un punto de fusión de  $27^\circ\text{C}$ , por lo cual se debe mantener refrigerado para que conserve su estado sólido. En vista de la inestabilidad del Hipoclorito de Sodio sólido, se encuentra más comúnmente en solución acuosa. Las concentraciones de Hipoclorito de Sodio encontradas en el comercio se pueden clasificar en dos grandes grupos: soluciones acuosas con concentración de Cloro activo inferior al 10%, y soluciones acuosas con concentración de Cloro activo superior al 10%. Las soluciones acuosas de Hipoclorito de Sodio poseen un ligero color amarillo, y un olor característico a Cloro.

- **Propiedades Físicas del Hipoclorito de Sodio**

**Tabla 3**

*Propiedades físicas para el Hipoclorito de Sodio*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Peso Molecular (g/mol)	74,4
Estado Físico	líquido
Punto de Ebullición (°C) (760 mmHg)	120 (Concentración cloro activo: 6.5%) 40 (5% de NaOCl en agua)
Punto de Fusión (°C)	8,6 (Concentración cloro activo: 6.5%) -6 (5% de NaOCl en agua)
Presión de Vapor (mmHg)	17,5 a 200 C (5% de NaOCl en agua)
Gravedad Específica (Agua = 1)	1,11 - 1,2 a 25°C, agua 4°C (Concentración cloro activo: 6.5%)
Densidad del Vapor (Aire = 1)	1,07 - 1,14 (5% de NaOCl en agua) Densidad del Vapor (Aire = 1) No Reportado

**Nota:** Incompatibilidades (5, 6, 9) El Hipoclorito de Sodio reacciona violentamente con múltiples sustancias químicas, razón por la cual se recomienda no mezclarlo con ningún otro reactivo hasta que se tengan controles de ingeniería y equipo de protección apropiados (6). Las sustancias que son incompatibles con el Hipoclorito de Sodio incluyen (9, 5): amoníaco, aminas, sales de amonio, azidrina, metanol, fenilacetnitrilo, celulosa, metales oxidables, etilenimina, Ácidos, jabones, y bisulfatos. En la siguiente tabla (6) se listan las sustancias que son incompatibles con el Hipoclorito de Sodio, junto con las posibles consecuencias de la mezcla accidental del Hipoclorito con tales compuestos.

El Hipoclorito de Sodio se descompone lentamente en contacto con el aire. La velocidad de descomposición aumenta al incrementar la concentración del Hipoclorito de Sodio dentro de la solución y a medida que aumenta la temperatura. La exposición de las soluciones de Hipoclorito de Sodio a la luz solar acelera la descomposición. Cuando se calienta a descomposición, el Hipoclorito de Sodio libera Cloro (Cl<sub>2</sub>), que es una sustancia tóxica.

**Tabla 4***Sustancias incompatibles con el Hipoclorito de Sodio*

<b>Material Incompatible</b>	<b>Material Incompatible</b>
<p>Ácidos, compuestos ácidos y limpiadores basados en ácidos. Compuestos tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sulfato de Aluminio</li> <li>- Ácido Clorhídrico</li> <li>- Cloruro de Aluminio</li> <li>- Ácido Sulfúrico</li> <li>- Cloruro Férrico</li> <li>- Ácido Fluorhídrico</li> <li>- Cloruro Ferroso</li> <li>- Ácido Fluorosilícico</li> <li>- Sulfato Férrico</li> <li>- Ácido Fosfórico</li> <li>- Sulfato Ferroso</li> <li>- Concreto</li> <li>- Soluciones cloradas</li> <li>- Limpiadores de Sulfato Ferroso</li> </ul>	Liberación de Cloro que puede ocurrir con violencia
<p>Reactivos y productos de limpieza que contengan amoníaco, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hidróxido de Amonio</li> <li>- Sulfato de Amonio</li> <li>- Cloruro de Amonio</li> <li>- Sales de Amonio</li> <li>- silicio</li> <li>-Fluoruro de Amonio</li> <li>- Cuaternarias</li> </ul>	Formación de compuestos explosivos Liberación de Cloro u otros gases nocivos
<p>Compuestos orgánicos y otros compuestos tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solventes y limpiadores</li> <li>- Propano basados en solventes</li> <li>- Polímeros Orgánicos</li> <li>- Combustibles y aceites</li> <li>- Etilén-Glicol Combustibles</li> <li>- Insecticidas</li> <li>- Aminas</li> <li>- Metanol</li> </ul>	Formación de compuestos orgánicos clorados. Formación de compuestos Explosivos. Liberación de Cloro, que puede ocurrir en forma violenta.
<p>Metales tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cobre</li> <li>- Cobalto</li> <li>- Níquel (Ni)</li> <li>- Hierro</li> </ul> <p>Evitar el transporte o almacenamiento en recipientes o equipos fabricados en acero inoxidable, aluminio, acero al carbono u otros metales comunes.</p>	Liberación de Oxígeno, que generalmente no ocurre con violencia. Puede producir sobrepresión o ruptura de sistemas cerrados.

- **Aplicaciones y usos:**

El principal uso de los Hipocloritos es en el blanqueado de fibras. Las soluciones de Hipoclorito pueden ser utilizadas para blanquear hasta cierto nivel de blancura, luego del cual el ataque sobre la celulosa supera las ventajas del ataque sobre el material coloreado.

El Hipoclorito de Sodio se utiliza comúnmente en: blanqueado, desinfección, control de olor, cloración de aguas de proceso o para bebida, eliminación de légamo y algas en piscinas, eliminación de pelo en la industria del cuero. Se emplea también en las industrias de pollos, granjas porcícolas, industrias lecheras, procesadoras de alimentos, refinerías de petróleo, refinerías de aceite, industria textil, industria de la pulpa y el papel, manufactura de jabón.

- **Eco toxicidad:** Por tratarse de una sustancia inorgánica no se le pueden aplicar los métodos para determinación de bio degradabilidad.

A pesar de la dilución, el Hipoclorito de Sodio forma soluciones causticas con el agua. Resulta muy tóxico para los organismos acuáticos, de manera que se usa para reducir la presencia de microorganismos en los procesos de tratamiento de aguas residuales. Además, esta sustancia trae efectos perjudiciales a los organismos acuáticos por variación del pH.

### **2.2.9 Mecanismos de Remoción de Metales Pesados**

“Existen varios procesos para remover metales pesados disueltos en medio acuoso, entre los que se encuentran el intercambio iónico, precipitación, coprecipitación, ultrafiltración, adsorción, ósmosis inversa y electrodiálisis” (Cayetano, 2019, p. 10). “Las diferentes técnicas de separación son competitivas y cada una de ellas tiene su propio rango de aplicabilidad según múltiples aspectos: tecnológicos, económicos, ecológicos, etc”. (Guerra & Hiyagon, 2012, p. 117)

“No obstante, el Tratamiento de Remediación con la dolomita se basa en la precipitación química y adsorción en el tratamiento de efluentes de drenajes conteniendo metales disueltos” (Flores Chávez, 2009), proporcionan

un medio económico y efectivo para remover metales pesados mezclados en un efluente de desecho. Actualmente en Perú han adquirido gran relevancia y uso dentro del tratamiento de aguas residuales industriales que contienen metales pesados y compuestos orgánicos refractarios.

“La utilización de Dolomita en el tratamiento de efluentes que contienen metales pesados depende principalmente a sus propiedades fisicoquímicas que poseen, son neutralización de las aguas ácidas, adsorción de metal pesado en solución y sedimentación de metal pesado en suspensión” (Guerra & Hiyagon, 2012, p. 117)

“La dolomita, presentan la mayor capacidad de neutralización de los minerales comunes. Ciertos metales pesados como Cu, Zn y Pb precipitan como carbonatos cuando el pH asciende, otros como el Cd es adsorbido en la estructura. Existen otros elementos como As, Mo, Se y Cr que son más móviles a pH alcalinos” (Guerra & Hiyagon, 2012, p. 117).

#### **2.2.10. Monitoreo del agua**

El monitoreo del agua es un proceso de seguimiento de las condiciones de calidad y de cantidad de este recurso en cualquiera de los ambientes en que esté presente, continental (superficial y subterráneo), marino o costero, durante un tiempo indefinido o definido y en un área específica.

##### **2.2.10.1. Actividades de Monitoreo**

- **Trabajo de pre-Campo**

El trabajo de campo se inicia con la preparación del material necesarios para la toma de muestra y la selección del personal capacitado para el desarrollo del monitoreo. En ocasiones los cuerpos de agua a evaluar se encuentran distantes y alejados de las ciudades, es por ello que es necesario verificar con una lista de chequeo (checklist) que se tienen todos los implementos para salir al campo.

“Se debe de tener un mapa de la cuenca o laguna donde se ha establecido los puntos de monitoreo considerados. De ser posible, las coordenadas de cada punto deben ser introducido en un GPS para

generar su ubicación. En caso de que los puntos de monitoreo se encuentren en un lago, laguna o mar, también será necesario tener un mapa de los puntos de monitoreo ubicados en los transectos a evaluar”. (ANA,2016)

“El trabajo de pre-campo consiste en preparar con anticipación los materiales de laboratorio, buffers de pH y conductividad, plan de trabajo, lista de chequeo, formatos de campo (hoja de campo), equipos portátiles, mapa con los puntos de monitoreo, movilidad, baterías de equipos, etc. Este trabajo previo tiene como objetivo cubrir todos los elementos indispensables para llevar a cabo un monitoreo de forma efectiva”. (ANA,2016)

### ***Trabajo de Campo***

Al llegar al punto de muestreo se debe hacer una observación previa del lugar, para establecer el punto más apropiado para recolectar la muestra y continuar con los siguientes pasos:

- Anotar las observaciones del cuerpo de agua (color, presencia de residuos, olor, presencia de vegetación acuática, presencia de vegetación ribereña, actividades humanas, presencia de animales, etc.).
- Tomar lectura de las coordenadas del punto de muestreo e indicar el sistema al cual corresponde.
- Preparar los frascos a utilizar de acuerdo con la lista de parámetros a evaluar.
- Las muestras de agua serán recolectadas y preservadas teniendo en cuenta cada uno de los parámetros considerados.
- Proceder con el rotulado de los frascos. El transporte de los frascos, agua destilada y preservante debe realizarse de preferencia en coolers para evitar su contaminación.
- Almacenar las muestras en el recipiente térmico (coolers) de forma vertical y considerando que los frascos de vidrio se encuentren apropiadamente protegidos evitando su rompimiento.

- Tomar las lecturas de los parámetros de campo (T, pH, C.E, O.D, TSD, Turbiedad, etc.). las mediciones pueden ser realizadas directamente en el cuerpo de agua siempre y cuando las condiciones lo permitan (seguridad de equipos y representatividad de la lectura) o de lo contrario tomar una muestra en un recipiente apropiado para lecturas considerando que la lectura del O.D se debe realizar de manera inmediata.
- De ser parte del programa de monitoreo la lectura del caudal podrá ser realizado considerando los criterios antes mencionados.
- Al finalizar la campaña de monitoreo las muestras de agua deberán ser transportadas hasta el laboratorio debidamente refrigeradas con Ice pack, llevando consigo la cadena de custodia.

#### ***Toma de Muestras por Parámetro***

“Las muestras de agua deberán ser recogidas en frascos de plástico o frascos de vidrio, lo cual dependerá del parámetro a analizar. Asimismo, el volumen necesario de muestra queda determinado por método analítico empleado por el laboratorio responsable de los análisis. Para la toma de muestras en ríos evitar las áreas de turbulencia excesiva, considerando la profundidad, la velocidad de la corriente y la distancia de separación entre ambas orillas”. (ANA,2016)

- La toma de muestra se realizará en el centro de la corriente a una profundidad de acuerdo con el parámetro a determinar.
- Para la toma de muestras en lagos y pantanos, se evitará la presencia de espuma superficial.
- La toma de muestras se realizará en dirección opuesta al flujo del recurso hídrico.
- Considerar un espacio de alrededor del 1% aproximadamente de la capacidad del envase (espacio de cabeza) para permitir la expansión de la muestra. La forma de tomar cada muestra dependerá de los parámetros a analizar. Así tenemos:

✓ *Parámetros Fisicoquímicos – inorgánicos:* Generalmente estas muestras pueden ser tomadas en frascos de plástico

directamente del cuerpo de agua. Antes se debe realizar el enjuague del frasco con un poco de muestra, agitar y desechar el agua de lavado corriente abajo.

- Este procedimiento tiene por finalidad la eliminación de posibles sustancias existentes en el interior del frasco que pudieran alterar los resultados.

- La muestra de estos parámetros deberá provenir del interior del cuerpo de agua en los primeros 20 cm de profundidad a partir de la superficie.

- Tener en cuenta que las muestras se toman en contra corriente y colocando el frasco con un ángulo apropiado para el ingreso de agua.

- Estas muestras no requieren ser llenadas al 100%, pero en caso se requiera la adición de preservante se dejará cierto volumen libre para la adición del preservante respectivo. Luego de cerrar el frasco es necesario hacer la homogenización de muestra, mediante agitación.

- En todo momento evitar tomar la muestra cogiendo el frasco por la boca.

- En el caso de la toma de muestra para determinar Metales Pesados, se utilizará frascos de plástico de boca ancha con cierre hermético, limpios de un litro de capacidad. Abrir el envase y sumergirlo a unos 20 cm por debajo de la superficie y luego preservar.

- Abrir el envase y sumergirlo a unos 20 cm por debajo de la superficie y luego preservar; así mismo mantener la muestra en cajas protectoras de plástico a 4 °C aproximadamente.

- La toma de muestras para los parámetros Físicos e iones se utilizan frascos de plástico de boca ancha con cierre hermético, limpios y de 1 litro de capacidad, no requiriendo preservación y conservándose en cajas protectoras de plástico a 4 °C aproximadamente.

### ***Parámetros de campo***

Los parámetros para evaluar en campo deben ser confiables y para ello se necesita:

- Tener calibrados los equipos portátiles (multiparametro, oxímetro, GPS, etc.) antes de la salida al campo y verificar su correcto funcionamiento. La calibración debe realizarse de acuerdo con las especificaciones del fabricante. La calibración debe verificarse y ajustarse de ser necesario en campo. Antes de realizar las lecturas, enjuague dos a tres veces con el agua de la muestra los electrodos con el equipo apagado.
- Luego realizar la medición agitando ligeramente el electrodo, dejar estabilizar la lectura y tomar nota. Luego de realizar las mediciones deberá lavar los electrodos con agua destilada utilizando una peseta. Secar con papel toalla y guardar adecuadamente.
- En algunos casos el electrodo necesita conservarse en una solución salina, estos antes de guardar coloque la capucha con la solución conservadora.
- Al finalizar las actividades de monitoreo los equipos deben mantenerse en óptimo estado de limpieza y en buenas condiciones de funcionamiento. Debe tenerse un registro de mantenimiento de cada instrumento, a fin de llevar el control del mantenimiento, reemplazo de baterías y cualquier problema de lecturas o calibraciones irregulares al usar las sondas o electrodos. Es prudente verificar que cada equipo cumpla con los estándares de calibración antes de salir al campo.
- ***Preservación de las muestras de agua***

Una vez tomada la muestra de agua, se procede a adicionarle el preservante. Una vez preservada la muestra, cerrar herméticamente el frasco y para mayor seguridad encintar la tapa para evitar cualquier derrame del líquido.
- ***Identificación de las muestras de agua:***

Los recipientes deben ser identificados antes de la toma de muestra con una etiqueta, escrita con letra clara y legible la cual

debe ser protegida con cinta adhesiva transparente conteniendo la siguiente información:

- 1.- Número de Muestra (referido al orden de toma de muestra).
- 2.- Código de identificación (punto y/o estación de muestreo).
- 3.- Origen de la fuente.
- 4.- Descripción del punto de muestreo.
- 5.- Fecha y hora de la toma de la muestra.
- 6.- Preservación realizada, tipo de preservante utilizado.
- 7.- Tipo de análisis requerido.
- 8.- Nombre del responsable del muestreo.

### ***Marco Legal para Actividades de Monitoreo de Agua***

El presente instrumento se sustenta en la normatividad vigente establecido para la gestión de los recursos hídricos del país.

- Ley N° 29338, “Ley de Recursos Hídricos” del 31 de marzo de 2009, faculta a la Autoridad máxima del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos velar por la protección del agua.
- Decreto Supremo N° 001-2010-AG del 24 de marzo de 2010, aprueba el Reglamento de la Ley N°29338 “Ley de Recursos Hídricos”.
- Resolución Jefatura N° 202-2010-ANA del 22 de marzo de 2010, aprueba la Clasificación de cuerpos de agua superficiales y marinos.
- Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación DS-004-2017-MINAM (Categoría N° 04).
- El ECA es la medida de la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, en el agua, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

## 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

### ***Agua acida:***

Se llama ácido a cualquier sustancia (orgánica o inorgánica) que contiene hidrógeno junto con un no-metal o un radical no metálico y que produce iones hidrogenión al diluirse en agua (Aduvire, 2006, p. 3).

### ***Dolomita:***

Es un mineral común que también es conocida como CaMg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> y es un tipo de piedra caliza compacta que está formada por carbonato doble de calcio y magnesio (Lucas & Romero, 2015, p. 44).

### ***Metales pesados:***

Término usado para los metales ferrosos y no ferrosos que tienen una densidad mayor que ~ 4 y propiedades que pueden ser peligrosas en el ambiente y la salud humana. Generalmente, el término incluye metales como el cobre, el níquel, el zinc, el cromo, el cadmio, el mercurio, el plomo, el arsénico, y puede aplicarse al selenio y a otros (Aduvire, 2006, p. 9).

### ***Pasivo ambiental:***

Son considerados pasivos ambientales aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población (Cayetano, 2019, p. 57).

## 2.4. HIPÓTESIS

### 2.4.1. Hipótesis General

**H<sub>a</sub>:** La aplicación de diferentes dosis de dolomita e hipoclorito de sodio tiene efecto en la precipitación de metales pesados en aguas acidas procedentes de la mina Volcán en la laguna Yanamate.

**H<sub>0</sub>:** La aplicación de diferentes dosis de dolomita e hipoclorito de sodio no tiene ningún efecto en la precipitación de metales pesados en aguas acidas procedentes de la mina Volcán en la laguna Yanamate.

## **2.4.2. Hipótesis Específicos**

### **A.**

**H<sub>a1</sub>**: Existe efecto de la aplicación de diferentes dosis de dolomita, sobre las características químicas de agua acida en la laguna Yanamate

**H<sub>01</sub>**: No existe ningún efecto de la aplicación de diferentes dosis de dolomita, sobre las características químicas de agua acida en la laguna Yanamate.

### **B.**

**H<sub>b2</sub>**: Existe efecto de la aplicación de diferentes dosis de Hipoclorito de Sodio, sobre las características químicas de las aguas acidas en la laguna Yanamate.

**H<sub>02</sub>**: Existe efecto de la aplicación de diferentes dosis de Hipoclorito de Sodio, sobre las características químicas de las aguas acidas en la laguna Yanamate.

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. Variable independiente**

Aplicación de diferentes dosis de Dolomita e Hipoclorito de sodio

### **2.5.2. Variable dependiente**

Precipitación de metales pesados presentes en aguas acidas

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**TÍTULO:** “EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE DOLOMITA E HIPOCLORITO DE SODIO EN LA PRECIPITACIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS ACIDAS PROCEDENTES DE LA MINA VOLCAN EN LA LAGUNA YANAMATE, EN EL DISRITO DE TINYAHUARCO, PASCO – 2021”

**TESISTA:** Bach. LUCY NELLY TARAZONA TARAZONA

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	indicador	Instrumentos
<b>INDEPENDIENTE:</b> Aplicación de diferentes dosis de Dolomita e Hipoclorito de sodio	“Adición de sustancias alcalinas generalmente hipoclorito de sodio. peróxido de hidrogeno, hidróxido de calcio o dolomita con el fin de conseguir la neutralización del ácido y alcanzar las condiciones adecuadas para la precipitación de los metales pesados” (Aduvire, 2006, p. 80).	Se aplicará Dolomita e hipoclorito de sodio en diferentes dosis para precipitar metales pesados de las aguas acidas.	Dolomita CaMg (Co3)2 Hipoclorito de sodio (NaClO)	-Gr. -MI	Pipetas automáticas Balanza analítica digital
<b>DEPENDIENTE:</b> Precipitación de metales pesados en aguas acidas	Metales que tienen una densidad mayor o igual a 6 g/cm <sup>3</sup> , usados ampliamente en las industrias, potencialmente toxico dependiendo de la dosis o cantidad (Zúñiga, 1999, p. 64).	Se van a medir con equipos automatizados de laboratorio como es el espectrofotómetro de absorción atómica certificado por instituciones calificadas	Cu Pb Cd As Zn	Mg/L Mg/l Mg/l Mg/l Mg/l	Espectrofotómetro Espectrofotómetro Espectrofotómetro Espectrofotómetro Espectrofotómetro

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODOLÓGIA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación se fundamenta de la siguiente manera:

Es de tipo experimental porque el investigador actúa conscientemente sobre el objeto de estudio; es longitudinal porque se obtienen datos de la misma población en distintos momentos durante un período determinado; es explicativa porque da razones del porqué de los fenómenos y correlacional porque mide el grado de relación entre variables de la población estudiada (Bernal, 2010, p. 110).

##### **3.1.1. Enfoque**

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo porque utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Hernández, 2014, p. 5).

##### **3.1.2. Alcance o nivel**

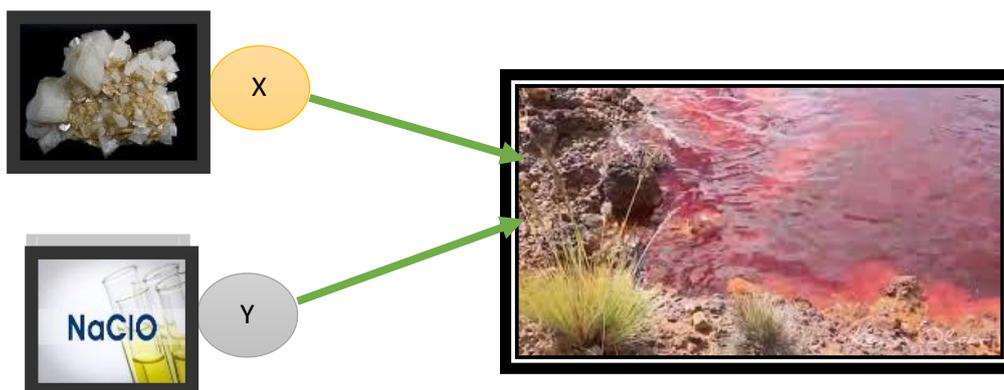
“La investigación sigue un nivel correlacional porque se evalúa el grado de asociación entre dos o más variables y después se cuantifican, analizan y establecen las vinculaciones. Tales correlaciones se sustentan en hipótesis sometidas a prueba” (Hernández, 2014, p. 90).

##### **3.1.3. Diseño**

El diseño de nuestra investigación es experimental cuantitativa. El objetivo se centra en controlar el fenómeno a estudiar, emplea el razonamiento hipotético-deductivo. Emplea muestras representativas, como estrategia de control y metodología cuantitativa para analizar los datos. Ya que para fines de validación de la hipótesis y contrastación con el planteamiento del problema y los objetivos de la investigación se empleó la experimentación a escala de laboratorio.

**Figura 3**

**Reacción química del Dolomita – hipoclorito de sodio en el agua**



**Nota:**

X=Dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

Y=Hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ )

## **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1. Población**

“Es el conjunto de todos los elementos de la misma especie que presentan una característica determinada o que corresponden a una misma definición y a cuyos elementos se les estudiará sus características y relaciones” (Lerma, 2009, p. 72).

La población en estudio estuvo conformada por la laguna Yanamate de drenaje ácido de la mina Volcan del distrito de Tinyahuarco provincia y departamento de Pasco.

### **3.2.2. Muestra**

“La muestra es el subconjunto de la población. A partir de los datos de las variables obtenidos de ella (estadísticos), se calculan los valores estimados de esas mismas variables para la población” (Lerma, 2009, p. 73).

La muestra estuvo conformada por 50 litros de 5 puntos de muestreo de la laguna Yanamate de drenaje ácido de la mina Volcán del distrito de Tinyahuarco provincia y departamento de Pasco.

### **Muestra para Tratamiento con dolomita**

- a) 1000 ml de aguas acidas + 50 gramos de Dolomita + agitación
- b) 1000 ml de aguas acidas + 100 gramos de Dolomita + agitación

### **Muestra para Tratamiento con hipoclorito de sodio**

- a) 1000 ml de aguas acidas + 50 ml de Hipoclorito de sodio + agitación
- b) 1000 ml de aguas acidas +100 ml de Hipoclorito de sodio + agitación

Envío de muestras al laboratorio certificado

- La muestra inicial se enviará al laboratorio certificado para el análisis físico -químico y biológico
- los tres tratamientos con dolomita se enviarán al laboratorio certificado para los análisis físico -químico y biológico.
- Los tres tratamientos con Hipoclorito de sodio se enviarán al laboratorio certificado para los análisis físico -químico y biológico.

## **3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.**

### **3.3.1. Para la recolección de datos**

“Para la recolección de datos se contempló el uso de: Protocolo Nacional Para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” (Resolución Jefatural 010-2016-ANA).

Se uso la técnica para cuerpo de agua léntico, con un tipo de muestra compuesta porque se homogenizará muestras simples colectadas durante un periodo determinado.

**Observación:** Consiste en una técnica de visualización en campo para conocer los impactos ambientales de la laguna Yanamate ocasionados por las descargas de agua ácida.

**Metodología de colecta:** Consiste en la recolección de datos de parámetros de campo y muestras para su análisis posterior en campo.

### **Actividades Experimentales:**

- Se recopiló información de estudios anteriores de los resultados de monitoreo de la calidad de agua de la laguna Yanamate, con el fin de caracterizar la muestra y poder tener claro los niveles de contaminación que esta tiene, previo al tratamiento.
- Se tomará una muestra puntual de solución ácida de aproximadamente 25 litros de la laguna Yanamate. La toma de muestra se realizó de acuerdo al protocolo de monitoreo de calidad de agua.
- El estudio de las pruebas experimentales del tratamiento de remoción de metales pesados de las aguas ácidas de la laguna Yanamate involucró el empleo del agente remediante de la dolomita y el hipoclorito de sodio para hacer énfasis en la reducción de la concentración de iones metálicos pesados a nivel de escala de laboratorio, con el propósito de determinar la efectividad del nuevo tratamiento.
- Las pruebas se realizaron a temperatura ambiente utilizando recipientes puestos en reactores de agitación a 160 rpm por 30 minutos.
- Luego, se dejó reposando las pruebas para la precipitación de los sólidos durante 6 horas.
- Posterior a este se mandó analizar las pruebas a un laboratorio acreditado para el análisis fisicoquímico.

### **Procedimiento analítico:**

- La cantidad de concentración de metales pesados removido por la Dolomita y el hipoclorito de sodio se calculará considerando la diferencia existente entre la cantidad de concentración inicial y final de la muestra.
- Los parámetros analizados sirven para realizar cálculos analíticos y determinar los porcentajes de remoción de metales pesados mediante la ecuación. De esta manera, se puede

determinar la eficiencia de remoción mediante este sistema de tratamiento propuesto con la Dolomita e hipoclorito de sodio

**Formula n°1:**

$Pr\% = \frac{AMD\ inicial - AMD\ TRATADO}{AMD\ inicial} \times 100$

AMD inicial

**Donde:**

**PR:** Porcentaje de remoción (%)

**AMD inicial:** Concentración inicial del AMD (mg/L)

**AMD tratado:** Concentración final del AMD tratado con Dolomita e hipoclorito de calcio (mg/L)

**3.3.2. Para la presentación de datos**

Los datos de la investigación se presentan por medio de gráficos y tablas estadísticas, después de los análisis, los cuales se expresarán para ser redactados científicamente, contrastar en la discusión de estos y conclusiones de la investigación

**3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.**

Para procesar, analizar la información y datos obtenidos después del trabajo en laboratorio, se usó el software estadístico IBM SPSS versión 25, en cuanto al instrumento estadístico se usó ANOVA, análisis de varianza, en el que se pudo aclarar las relaciones entre las variables, identificar tendencias y realizar predicciones.

# CAPÍTULO IV

## RESULTADOS

### 4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

**Tabla 5**

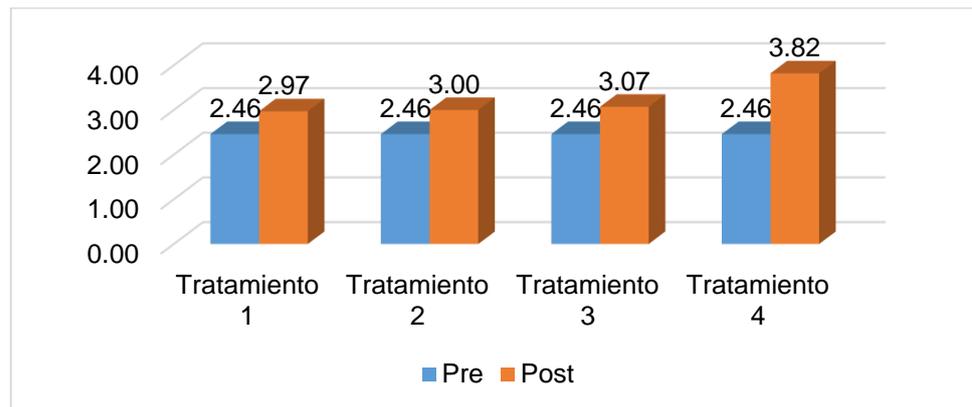
*Descriptivos del pH antes y después de la aplicación de los tratamientos*

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
					Límite inferior	Límite superior
pH_pre	1	2,4580	,32714	,14630	2,0518	2,8642
	2	2,4580	,32714	,14630	2,0518	2,8642
	3	2,4580	,32714	,14630	2,0518	2,8642
	4	2,4580	,32714	,14630	2,0518	2,8642
	Total	20	2,4580	,30020	,06713	2,3175
pH_pos	1	2,9700	,01581	,00707	2,9504	2,9896
	2	2,9980	,01304	,00583	2,9818	3,0142
	3	3,0700	,20174	,09022	2,8195	3,3205
	4	3,8180	,41901	,18739	3,2977	4,3383
	Total	20	3,2140	,41836	,09355	3,0182

**Nota:** Elaboración propia.

**Figura 4**

*Descriptivos del pH antes y después de la aplicación de los tratamientos*



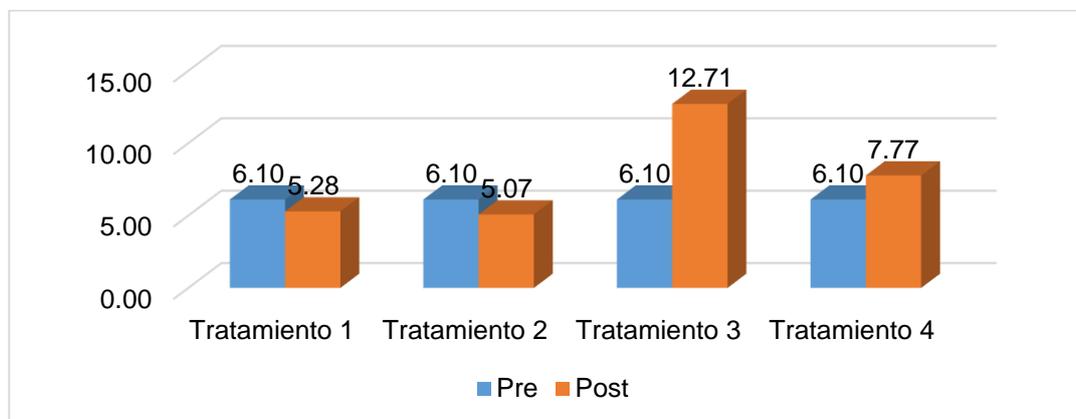
**Nota:** Elaboración propia

Descriptivamente podemos observar que el tratamiento 4 provocó un mayor incremento del pH, siendo el tratamiento 1 el que provocó un menor incremento.

**Tabla 6***Descriptivos de la materia orgánica antes y después de la aplicación de los tratamientos*

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
					Límite inferior	Límite superior
MO_pre	5	6,1031	4,44893	1,98962	,5791	11,6272
	5	6,1031	4,44893	1,98962	,5791	11,6272
	5	6,1031	4,44893	1,98962	,5791	11,6272
	5	6,1031	4,44893	1,98962	,5791	11,6272
Total	20	6,1031	4,08262	,91290	4,1924	8,0139
MO_pos	5	5,2824	3,85390	1,72352	,4971	10,0677
	5	5,0736	4,19752	1,87719	-,1383	10,2855
	5	12,7128	1,74491	,78035	10,5462	14,8794
	5	7,7694	,42862	,19169	7,2372	8,3016
Total	20	7,7095	4,18127	,93496	5,7526	9,6664

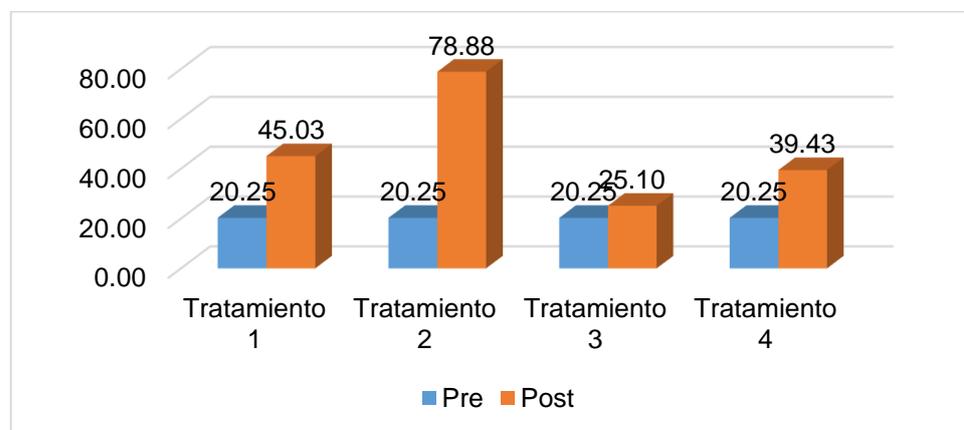
Nota: Elaboración propia

**Figura 5***Descriptivos de la materia orgánica antes y después de la aplicación de los tratamientos***Nota:** Elaboración propia

Descriptivamente apreciamos que el tratamiento es el que incrementó más la materia orgánica, siendo el tratamiento 1, el que tuvo un menor incremento.

**Tabla 7***Descriptivos del magnesio antes y después de la aplicación de los tratamientos*

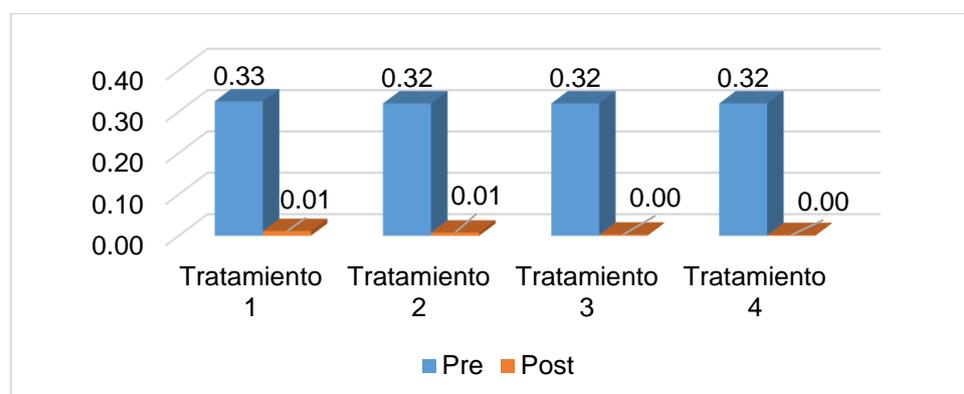
		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
						Límite inferior	Límite superior
Mg_pre	1	5	20,2534	12,79801	5,72344	4,3626	36,1442
	2	5	20,2534	12,79801	5,72344	4,3626	36,1442
	3	5	20,2534	12,79801	5,72344	4,3626	36,1442
	4	5	20,2534	12,79801	5,72344	4,3626	36,1442
	Total	20	20,2534	11,74426	2,62610	14,7569	25,7499
Mg_pos	1	5	45,0276	21,76709	9,73454	18,0002	72,0550
	2	5	78,8826	42,72078	19,10531	25,8377	131,9275
	3	5	25,0952	18,96861	8,48302	1,5426	48,6478
	4	5	39,4262	27,59002	12,33863	5,1687	73,6837
	Total	20	47,1079	33,61327	7,51616	31,3764	62,8394

**Nota:** Elaboración propia**Figura 6***Descriptivos del magnesio antes y después de la aplicación de los tratamientos***Nota:** Elaboración propia

Descriptivamente apreciamos que el tratamiento 2 es el que incrementó en mayor cantidad la cantidad de magnesio, siendo el tratamiento el que tuvo el menor incremento.

**Tabla 8***Descriptivos del plomo antes y después de la aplicación de los tratamientos*

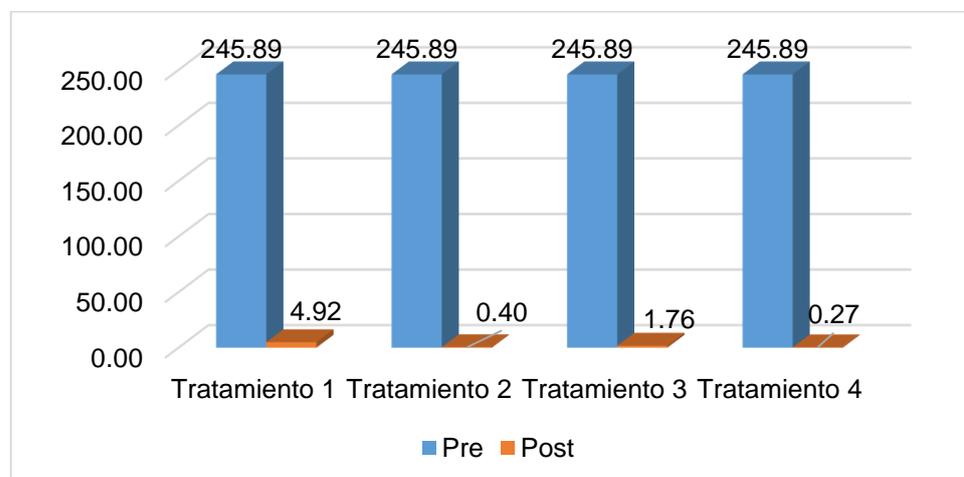
		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
						Límite inferior	Límite superior
Pb_pre	1	5	,3200	,11031	,04933	,1830	,4570
	2	5	,3200	,11031	,04933	,1830	,4570
	3	5	,3200	,11031	,04933	,1830	,4570
	4	5	,3200	,11031	,04933	,1830	,4570
	Total	20	,3200	,10123	,02264	,2726	,3674
Pb_pos	1	5	,0121	,00192	,00086	,0097	,0145
	2	5	,0060	,00178	,00080	,0037	,0082
	3	5	,0021	,00077	,00035	,0011	,0030
	4	5	,0013	,00051	,00023	,0007	,0019
	Total	20	,0054	,00457	,00102	,0032	,0075

**Nota:** Elaboración propia**Figura 7***Descriptivos del plomo antes y después de la aplicación de los tratamientos***Nota:** Elaboración propia

Descriptivamente podemos apreciar que prácticamente cada uno de los tratamientos redujo en su totalidad la cantidad de plomo.

**Tabla 9***Descriptivos del hierro antes y después de la aplicación de los tratamientos*

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
						Límite inferior	Límite superior
Fe_pre	1	5	245,8930	16,12287	7,21037	225,8738	265,9122
	2	5	245,8930	16,12287	7,21037	225,8738	265,9122
	3	5	245,8930	16,12287	7,21037	225,8738	265,9122
	4	5	245,8930	16,12287	7,21037	225,8738	265,9122
	Total	20	245,8930	14,79536	3,30834	238,9686	252,8174
Fe_pos	1	5	4,9151	2,11029	,94375	2,2948	7,5353
	2	5	,4009	,09774	,04371	,2795	,5222
	3	5	1,7637	,38423	,17183	1,2866	2,2408
	4	5	,2665	,02528	,01131	,2351	,2979
	Total	20	1,8365	2,15807	,48256	,8265	2,8465

**Nota:** Elaboración propia**Figura 8***Descriptivos del hierro antes y después de la aplicación de los tratamientos***Nota:** Elaboración propia

Descriptivamente encontramos que tuvo un mayor éxito en la reducción del hierro el tratamiento 4, seguido del tratamiento, siendo el tratamiento 1 el que tuvo una menor reducción de hierro.

**Tabla 10**

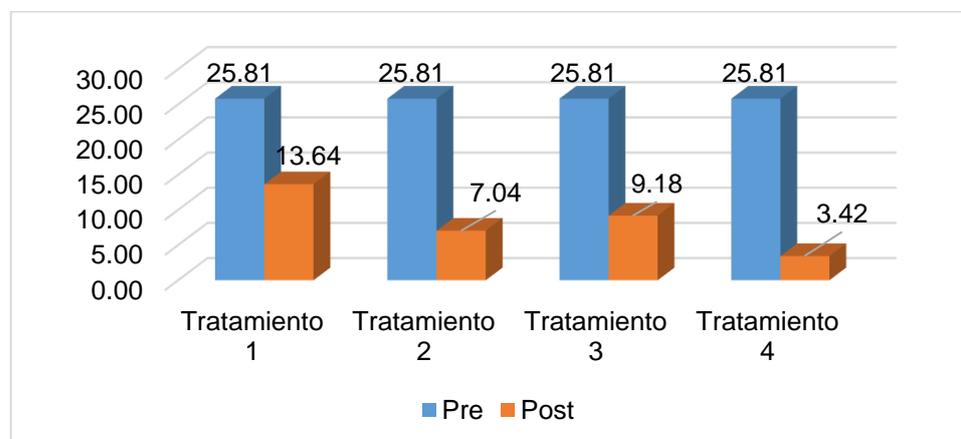
*Descriptivos del zinc antes y después de la aplicación de los tratamientos*

		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
						Límite inferior	Límite superior
Zn_pre	1	5	25,8074	5,60675	2,50741	18,8457	32,7691
	2	5	25,8074	5,60675	2,50741	18,8457	32,7691
	3	5	25,8074	5,60675	2,50741	18,8457	32,7691
	4	5	25,8074	5,60675	2,50741	18,8457	32,7691
	Total	20	25,8074	5,14511	1,15048	23,3994	28,2154
Zn_pos	1	5	13,6368	3,26273	1,45914	9,5856	17,6880
	2	5	7,0391	1,35967	,60806	5,3509	8,7274
	3	5	9,1804	2,69821	1,20668	5,8302	12,5307
	4	5	3,4221	1,36721	,61144	1,7245	5,1198
	Total	20	8,3196	4,35145	,97301	6,2831	10,3562

**Nota:** Elaboración propia

**Figura 9**

*Descriptivos del zinc antes y después de la aplicación de los tratamientos*



**Nota:** Elaboración propia

Descriptivamente encontramos que la mayor reducción de zinc se dio con el tratamiento 4, siendo el tratamiento 1 el que provocó una menor reducción.

**Tabla 11***Prueba de normalidad de los datos usando Kolmogorov-Smirnov*

Pruebas de normalidad							
Grupo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>				Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Pb_DIF	1	,194	5	<b>0,200*</b>	,922	5	,542
	2	,184	5	<b>0,200*</b>	,931	5	,603
	3	,192	5	<b>0,200*</b>	,927	5	,579
	4	,190	5	<b>0,200*</b>	,928	5	,583
Fe_DIF	1	,322	5	<b>0,100</b>	,783	5	,059
	2	,345	5	<b>0,052</b>	,750	5	,030
	3	,348	5	<b>0,050</b>	,743	5	,029
	4	,343	5	<b>0,054</b>	,750	5	,030
Zn_DIF	1	,228	5	<b>0,200*</b>	,915	5	,496
	2	,285	5	<b>0,200*</b>	,847	5	,185
	3	,215	5	<b>0,200*</b>	,939	5	,657
	4	,222	5	<b>0,200*</b>	,907	5	,451

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

a. Corrección de significación de Lilliefors

**Nota:** Elaboración propia

Mediante la prueba de normalidad con Kolmogorov-Smirnov, encontramos que los datos si la presentan, por lo que es pertinente el uso de una prueba paramétrica para la contrastación de la hipótesis, tal como el ANOVA con un factor Inter sujetos.

#### 4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para poder determinar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de dolomita e hipoclorito de sodio en la precipitación de metales pesados en las aguas ácidas, procedente de la laguna Yanamate, es necesario desarrollar la hipótesis operativa siguiente:

H1: La aplicación de diferentes dosis de dolomita e hipoclorito de sodio tienen efecto diferente en la precipitación de metales pesados en aguas ácidas procedentes de la mina Volcan en la laguna Yanamate.

La hipótesis alterna niega la afirmación de la hipótesis alterna

Nivel de significancia: 5%

Estadístico de prueba: ANOVA con un factor Inter sujetos.

Cálculo del p-valor:

**Tabla 12**

*Prueba estadístico ANOVA*

		<b>ANOVA</b>				
		Suma de		Media		
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
Pb_DIF	Entre grupos	,000	3	,000	,010	0,999
	Dentro de grupos	,192	16	,012		
	Total	,193	19			
Fe_DIF	Entre grupos	70,043	3	23,348	,088	0,966
	Dentro de grupos	4249,332	16	265,583		
	Total	4319,375	19			
Zn_DIF	Entre grupos	273,192	3	91,064	4,696	<b>0,015</b>
	Dentro de grupos	310,279	16	19,392		
	Total	583,471	19			

Realizando el análisis de varianza se obtiene una probabilidad de error del 1.5% (p-valor =0.015); Por tal afirmamos que existe diferencia en la precipitación del Zinc en aguas ácidas procedentes de la mina Volcan en la laguna Yanamate. Tanto al usar el Pb como el Fe se ha encontrado que no existe diferencias en las precipitaciones que logran sobre el agua ácida.

**Tabla 13**

*Interpretación del pH en función de la temperatura media de 25 °C*

Muestra	pH inicial	Interpretación	pH final a diferente dosis	interpretación
M1	2.10	Demasiado ácido para la protección de vida acuática en agua dulce	50g dolomita = 2.95	Demasiado ácido para la protección de vida acuática en agua dulce
			100g dolomita = 2.98	
			50ml hipoclorito de sodio = 2.84	
			100ml hipoclorito de sodio = 3.34	
M2	2.72	Demasiado ácido para la protección de vida acuática en agua dulce	50g dolomita = 2.96	Demasiado ácido para la protección de vida acuática en agua dulce
			100g dolomita = 3.00	
			50ml hipoclorito de sodio = 2.86	
			100ml hipoclorito de sodio = 3.39	
M3	2.69	Demasiado ácido para la protección de vida acuática en agua dulce	50g dolomita = 2.99	Demasiado ácido para la protección de vida acuática en agua dulce
			100g dolomita = 3.01	
			50ml hipoclorito de sodio = 3.19	
			100ml hipoclorito de sodio = 4.21	
M4	2.68	Demasiado ácido para la protección de vida acuática en agua dulce	50g dolomita = 2.98	Demasiado ácido para la protección de vida acuática en agua dulce
			100g dolomita = 2.99	
			50ml hipoclorito de sodio = 3.24	
			100ml hipoclorito de sodio = 4.23	
M5	2.10	Demasiado ácido para la protección de vida acuática en agua dulce	50g dolomita = 2.97	Demasiado ácido para la protección de vida acuática en agua dulce
			100g dolomita = 3.01	
			50ml hipoclorito de sodio = 3.22	
			100ml hipoclorito de sodio = 3.88	

**Nota:** Interpretación basada en: “Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua”, descrito por Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

**Tabla 14**

*Interpretación del promedio de la concentración de plomo (Pb) antes y después de la intervención*

Promedio de muestras de Pb inicial	Interpretación	Promedio de Pb final diferente dosis	Interpretación
0.3200 ppm	Demasiado alto para lagunas y lagos de agua dulce	50g dolomita = 0.0121 ppm	Muy alto para lagunas y lagos de agua dulce
		100g dolomita = 0.0060 ppm	Levemente alto para lagunas y lagos de agua dulce
		50ml hipoclorito de sodio = 0.0028 ppm	Cerca al límite para lagunas y lagos de agua dulce
		100ml hipoclorito de sodio = 0.0013 ppm	Debajo del rango para lagunas y lagos de agua dulce

**Nota:** Interpretación basada en: ECA para Agua, descrito por DS N° 004-2017-MINAM - Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

**Tabla 15**

*Interpretación del promedio de la concentración de hierro (Fe) antes y después de la intervención*

Promedio de muestras de Fe inicial	Interpretación	Promedio de Fe final diferente dosis	Interpretación
245.8930 ppm	Demasiado alto para agua dulce de riego y bebida de animales	50g dolomita = 4.9151 ppm	Restringido para bebida de animales
		100g dolomita = 0.4009 ppm	Apta para el riego de parques, campos deportivos, áreas verdes
		50ml hipoclorito de sodio = 1.6080 ppm	Restringido para bebida de animales
		100ml hipoclorito de sodio = 0.2665ppm	Apta para el riego de parques, campos deportivos, áreas verdes

**Nota:** Interpretación basada en: ECA para Agua, descrito por DS N° 004-2017-MINAM - Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

**Tabla 16**

*Interpretación del promedio de la concentración de zinc (Zc) antes y después de la intervención*

Promedio de muestras de Zc inicial	Interpretación	Promedio de Zc final diferente dosis	Interpretación
25.8074 ppm	Demasiado alto para todas las categorías del ECA	50g dolomita = 13.6368 ppm	Alto para todas las categorías del ECA/ apto para bebida de animales con valores menores o igual a 24 ppm
		100g dolomita = 7.0391 ppm	
		50ml hipoclorito de sodio = 9.1399 ppm	Dentro del rango de aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección
		100ml hipoclorito de sodio = 3.4221 ppm	

**Nota:** Interpretación basada en: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, descrito por Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

## CAPÍTULO V

### DISCUSION DE RESULTADOS

El presente estudio tiene como objetivo determinar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de dolomita e hipoclorito de sodio en la precipitación de metales pesados en aguas acidas procedentes de la mina Volcan en la laguna Yanamate. Los datos obtenidos demuestran efectos en la remoción de metales pesados atribuidos a la capacidad de floculación de ambas soluciones aplicadas de manera experimental.

Los resultados obtenidos demuestran que el pH tuvo una muy ligera variación ascendente pero aún se mantiene en muy ácido con valores menores a 3 lo cual se interpreta como demasiado ácido para la protección de vida acuática en agua dulce, a excepción de las muestras trabajadas con 100 gr de hipoclorito de sodio que fueron 3.38; 3.39; 4.21; 4.23; 3.88 respectivamente en las 5 repeticiones, discrepando con lo que menciona Basilio (2015) en su Tesis "Influencia de la acidez en la remoción de plomo (Pb<sup>2+</sup>) utilizando dolomita como adsorbente" en la sostiene que Las propiedades alcalinas de la dolomita incrementaron el pH de las aguas ácidas de 1,5 a 8,11. Del mismo modo Berrospi (2019) que menciona que con la dosificación de 25 g de dolomita en el P-1 mejoró hasta lograr un pH 7.19 y en el caso P-2 también mejoró llegando a un pH 7.35. Por lo tanto, con la dosis de 25 g de dolomita es adecuado para 500 ml de aguas ácidas con pH menores de 2.

Así mismo, se logró además una remoción de plomo hasta en un 99 % con hipoclorito de sodio, discrepando con el estudio de Sevillano (2017) "Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio" quien menciona que el hidróxido de calcio es eficiente en la neutralización de la acidez en los tres tratamientos de 4.8, 5.9 y 7.25 de pH respectivamente y con 10 g/l removió en un 52.82% de plomo.

En cuanto a la remoción de zinc se tuvo hasta un 92 % con 100 ml de hipoclorito de sodio en la muestra 1 y un porcentaje mínimo en la muestra 1

con 50 gr de Dolomita de 45 %. A del estudio de Ahmad Kamal & Gooyong, (2020) quien refiere que los experimentos de columna tuvieron un alto porcentaje de remoción de metales pesados, con valores de remoción de cadmio, ferum, manganeso y zinc de 22,73%, 93,24%, 88,88% y 98,50%, respectivamente.

En el estudio se logró la remoción de los metales pesados con ambos tratamientos; aplicado 100 gr de dolomita se redujo plomo de 0.3200 ppm a 0.0060 ppm, reducción de hierro de 245.8930 ppm a 0.4009 ppm, reducción de zinc de 7.0391 ppm a 3.4221 ppm. Así mismo, aplicado 100 ml de hipoclorito de sodio se redujo el plomo inicial 0.3200 ppm a 0.0013 ppm, reducción de hierro de 245.8930 ppm 0.2665 ppm, reducción de zinc de 25.8074 ppm a 3.4221 ppm

Dichos resultado concuerda con Berrospi (2019) “quien refiere con respecto a los metales totales antes de la aplicación de la dolomita superaba en gran parte el ECA-Categoría 4, con 25 g de dolomita, en el P-1 descendió mucho más el contenido de Plomo, Hierro, Cobre, Zinc, en 0.0006 mg/Lt, 0.3002 mg/Lt, 0.03452 mg/Lt, 8.1359 mg/Lt, respectivamente, para el caso del P-2 descendió el plomo, Hierro, Cobre, Zinc, en 0.0021mg/Lt, 0.2449 mg/Lt, 0.02479 mg/Lt, 6.7898 mg/Lt, respectivamente”.

**Con respecto al objetivo específico 1;** Determinar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de dolomita, sobre las características químicas de agua acida en la laguna Yanamate. Tras la aplicación de la dolomita en dosis de 50 y 100 gr el pH se mantiene en acido con valores igual o menores al rango de 3 en todas las repeticiones. Con un valor mínimo de 2.95 en la muestra 1 para dosis de 50 gr, y un valor máximo de 3.01 para la dosis de 100 gr en la muestra 3 y 5.

**Con respecto al objetivo específico 2;** Determinar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de hipoclorito de sodio, sobre las características químicas de las aguas acidas en la laguna Yanamate. Tras la aplicación del Hipoclorito de Sodio en dosis de 50 y 100 ml el pH tiene un ligero incremento con valores superiores a 3, llegando a un valor máximo de un valor de 4.23 pH en la dosis de 100 ml en la muestra 4.

**Con respecto al objetivo específico 3;** Determinar cuál es la dosis más apropiada de dolomita, para precipitar metales pesados del agua acida en la laguna Yanamate. Según los resultados la dosis más apropiada en la remoción de metales pesados; Para plomo (Pb) fue la muestra 2 que fue dosificada con 100 gr de Dolomita de 0.4570 ppm a 0.0022 ppm. Para hierro (Fe) fue la muestra 2 trabajada con 100 gr de Dolomita con una reducción de 232.4450 a 0.2987 ppm. Para zinc (Zc) fue la muestra trabajada 2, dosificada con 100 gr de Dolomita con una reducción de 16.2218 ppm a 5.7174 ppm.

**Con respecto al objetivo específico 4;** Determinar cuál es la dosis más apropiada de hipoclorito de sodio, para precipitar metales pesados del agua acida en la laguna Yanamate Para plomo (Pb) fue la muestra 3 que fue dosificada con 100 ml de Hipoclorito de Sodio con una reducción de 0.2345 ppm a 0.0010. Para hierro (Fe) fue la muestra 4 trabajada con 100 ml de Hipoclorito de Sodio, con una reducción de 235.3570 ppm a 0.2589 ppm. Para zinc (Zc) fue la muestra trabajada con 100 ml de Hipoclorito de Sodio con una reducción de 26.5499 ppm a 5.4439 ppm.

## CONCLUSIONES

Del presente estudio se plantea las siguientes conclusiones:

- Tanto la Dolomita e Hipoclorito de sodio tuvieron efecto sobre el pH del agua acida además de la reducción de metales pesados (plomo, hierro y zinc)
- Después de la aplicación de la dolomita en dosis de 50 y 100 gr el pH se mantiene en acido con valores menores al rango de 3 en todas las repeticiones
- Después de la aplicación del Hipoclorito de Sodio en dosis de 50 y 100 ml el pH tiene un ligero incremento con valores superiores a 3
- Las muestras trabajadas con 100 gr de Dolomita tuvieron un mejor efecto en la remoción de metales pesados estudiados (Plomo, Hierro y Zinc) siendo más efectiva en la remoción para el metal pesado plomo (Pb).
- Las muestras trabajadas con 100 ml de Hipoclorito de Sodio tuvieron un mejor efecto en la remoción de metales pesados estudiados (Plomo, Hierro y Zinc) llegando a la remoción casi en su totalidad para plomo (Pb). Y con mejores resultados que la dolomita.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Hacer estudios más exhaustivos de la aplicación de hipoclorito de sodio en cuerpos de agua acidas más grandes, para la remoción de metales, ya que el estudio demuestra su eficacia.
- Realizar una caracterización de la laguna Yanamate, en la incluya la actividad biológica el porcentaje de los lodos sedimentados, la concentración de metales pesados.
- Realizar una evaluación hidrogeológica teniendo en cuenta los caudales en curso del agua, además la calidad del agua superficial y subterránea.
- Realizar planes de recuperación de la laguna Yanamate, en las que se incluyan, tratamiento de suelos contaminados, planes de cierre y las condiciones meteorológicas.
- Realizar planes de contingencia que incluyan posibles derrames y un plan de monitoreo continuo.
- Establecer un plan de mitigación de daños a la salud de las poblaciones aledañas, incluyendo la flora y fauna.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, K. A. (2015). Tratamiento de aguas ácidas de drenaje de mina con alto contenido de aluminio y manganeso por tecnología de lodos de alta densidad (HDS) [Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4508>
- Aduvire, O. (2006). Drenaje Acido de Mina. Generación y tratamiento. 136.
- Ahmad Kamal, N., & Gooyong, L. (2020). Removal of Selected Heavy Metals in Acid Mine Drainage using Chemical Precipitation Method. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 57(1), 121–130.
- Basilio, J. (2015). Influencia de la acidez en la remoción de plomo (Pb<sup>2+</sup>) utilizando dolomita como adsorbente [Universidad Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1704>
- Bernales, C. (2010). Metodología de la Investigación (Tercera Edición). PEARSON EDUCACIÓN.
- Berrosipi, L. (2019). Remoción de metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate mediante la aplicación de la dolomita como agente remediante a escala experimental-2019 [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/930>
- Cayetano, P. (2019). Tecnologías para la recuperación de Agua Contamianda con Metales Pesados: Plomo, Cadmio, Mercurio y Arsénico. 64.
- Chambi, D. (2017). Evaluación de la Eficiencia de remoción de Sólidos Suspendidos totales Aplicando Dolomita y Sulfato de Calcio en el tratamiento de efluentes de la Minería Aluvial de Ananea, Puno [Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/3182>

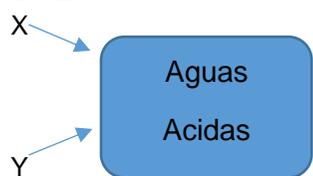
- Dammert, A. (1981). ECONOMIA MINERA. (Primera Edición).  
[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/607308/Libro\\_Economia\\_Minera.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/607308/Libro_Economia_Minera.pdf)
- Gobierno de Chile. (2002). Guía Metodológica Sobre Drenaje Ácido en la Industria Minera.
- Guerra, A., & Hiyagon, G. V. (2012). Tratamiento de agua para remoción de plomo aplicando nanotecnología [Universidad Nacional de Ingeniería].  
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3362>
- Hernández, R. (2014). Metodología de la Investigación (Sexta Edición). McGRAW-HILL.
- Lerma, H. D. L. (2009). Metodología de la investigación: Propuesta, anteproyecto y proyecto (Cuarta Edición). Ecoe Ediciones.
- Lucas, J., & Romero, L. (2015). DETERMINACIÓN DEL pH Y TAMAÑO DE PARTICULA ÓPTIMOS PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO CON DOLOMITA DEL AGUA POTABLE DE JAUJA METROPOLITANA. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Ruiz, J. (2018). Tratamiento de aguas acidas con dolomita para disminuir la concentración de Cu y Zn en efluentes de la planta concentradora victoria en la Provincia de Yauli – La Oroya [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5369>
- Sevillano, R. (2017). Eficiencia del hidróxido de calcio en el tratamiento de las aguas ácidas de una relavera de Pasco, a nivel laboratorio – 2017 [Universidad César Vallejo].  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/16630>
- Toapanta, S. P., & Valarezo, C. L. (2019). Síntesis de espinela ferrita aplicada en la remoción de plomo y cadmio de aguas residuales [Universidad Técnica de Machala].  
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14098>

- Villas-Boas, C., Guimarães, Y., Moussa, M., & Baseia, B. (2001). Recurrence formula for generalized optical state truncation by projection synthesis. *Physical Review A - PHYS REV A*, 63. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.63.055801>
- Volcan Minera. (2010). Plan de Manejo Ambiental de la Laguna Yanamate. Golder Associates Perú S.A. <https://www.actualidadambiental.pe/wp-content/uploads/2015/10/LAguna-Yanamate.pdf>
- Zamora, R. M. R. (2017). Síntesis de zeolitas a partir de jales de cobre para la remoción de metales y amonio presentes en agua. *Gaceta Instituto de Ingeniería, UNAM*, 1(68), 16 y 17–16 y 17.
- Zúñiga, F. B. (1999). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados (Primera Edición)*. UADY.

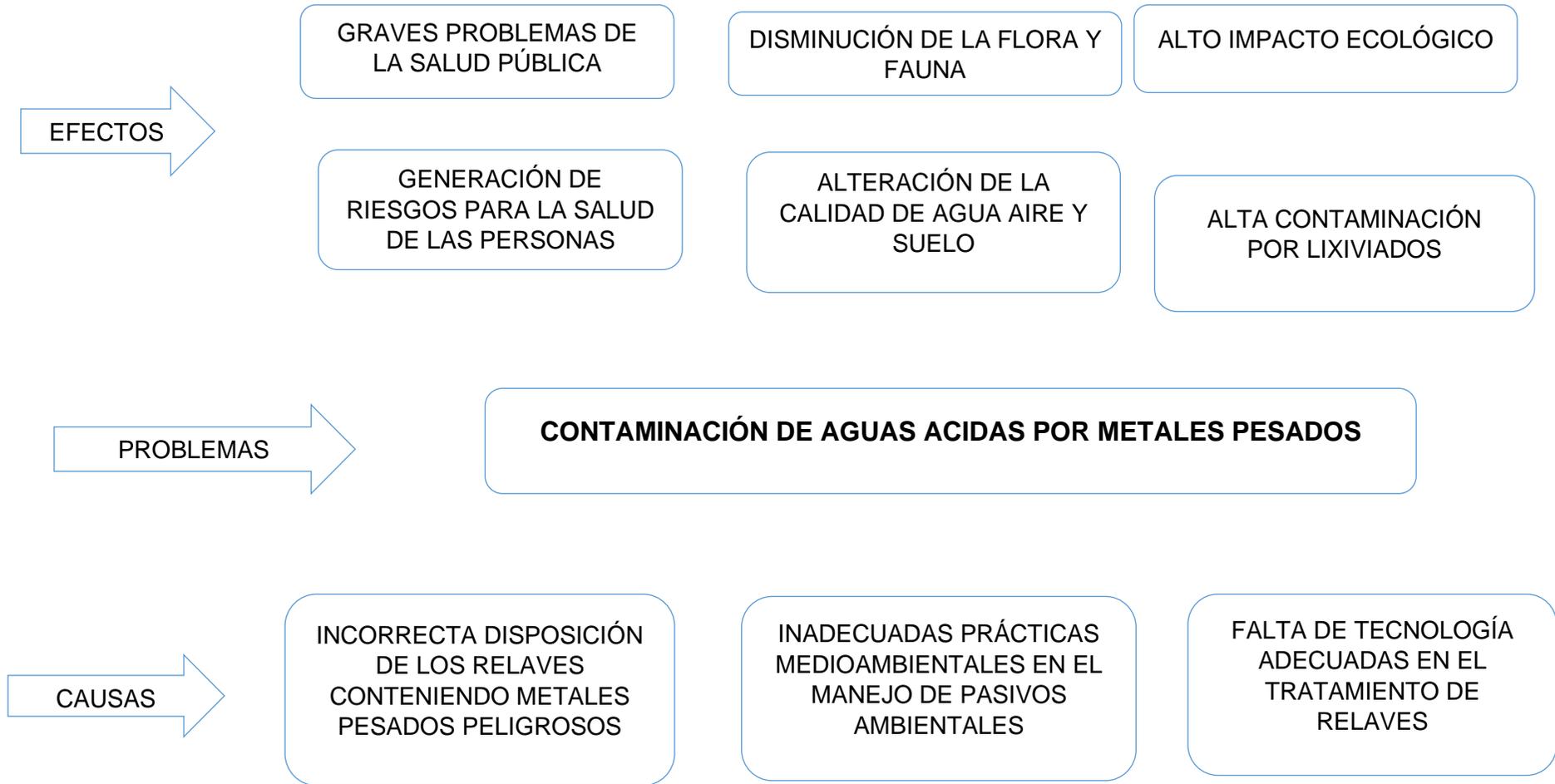
## **ANEXOS**

## Anexo 1 Matriz de Consistencia

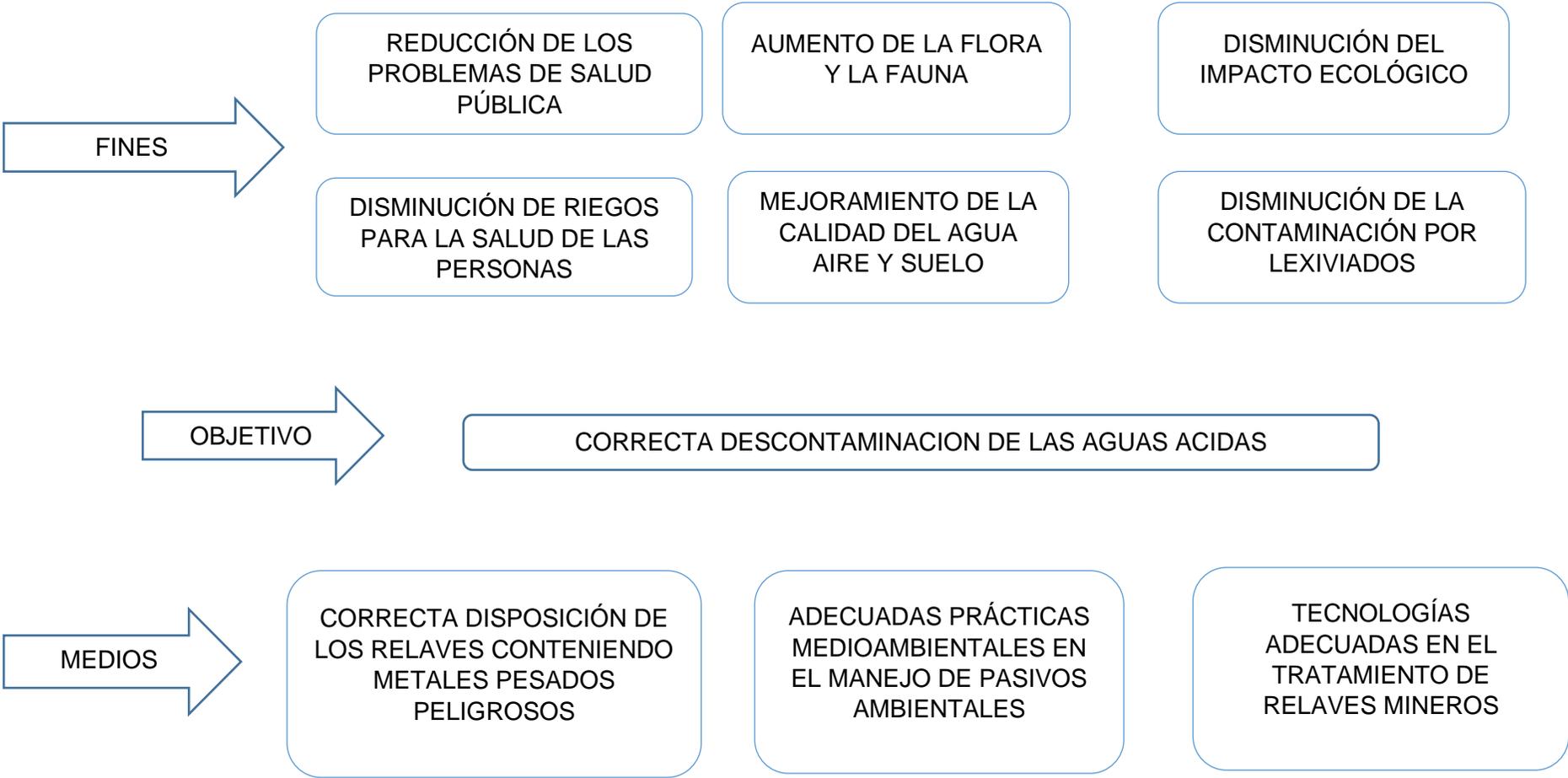
**TITULO:** “Efecto de la aplicación de diferentes dosis de dolomita e hipoclorito de sodio en la precipitación de metales pesados en aguas acidas procedentes de la mina Volcan en la laguna Yanamate, en el distrito de Tinyahuarco, Pasco – 2021”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>¿Qué efecto producen la aplicación de diferentes dosis de dolomita e hipoclorito de sodio en la precipitación de metales pesados en aguas acidas procedentes de la mina Volcan en la laguna Yanamate?</p> <p><b>ESPECIFICOS:</b></p> <p>¿Cuáles son las características químicas de agua acida en la laguna Yanamate, con la aplicación de diferentes dosis de dolomita?</p> <p>¿Cuáles son las características químicas de agua acida en la laguna Yanamate, con la aplicación de diferentes dosis de Hipoclorito de Sodio?</p> <p>¿En qué medida favorece cada dosis de dolomita para precipitar metales pesados del agua acida en la laguna Yanamate?</p> <p>¿En qué medida favorece cada dosis de Hipoclorito de sodio para precipitar metales pesados del agua acida en la laguna Yanamate?</p>	<p>Determinar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de dolomita e hipoclorito de sodio en la precipitación de metales pesados en aguas acidas procedentes de la mina Volcan en la laguna Yanamate.</p> <p><b>ESPECIFICOS:</b></p> <p>Determinar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de dolomita, sobre las características químicas de agua acida en la laguna Yanamate.</p> <p>Determinar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de Hipoclorito de Sodio, sobre las características químicas de las aguas acidas en la laguna Yanamate.</p> <p>Determinar cuál es la dosis más apropiada de dolomita, para precipitar metales pesados del agua acida en la laguna Yanamate.</p> <p>Determinar cuál es la dosis más apropiada de Hipoclorito de Sodio, para precipitar metales pesados del agua acida en la laguna Yanamate.</p>	<p>La aplicación de diferentes dosis de dolomita e hipoclorito de sodio tiene efecto en la precipitación de metales pesados en aguas acidas procedentes de la mina Volcan en la laguna Yanamate</p> <p>Existe efecto de la aplicación de diferentes dosis de dolomita, sobre las características químicas de agua acida en la laguna Yanamate</p> <p>Existe efecto de la aplicación de diferentes dosis de Hipoclorito de Sodio, sobre las características químicas de las aguas acidas en la laguna Yanamate.</p>	<p><b>INDEPENDIENTE:</b> Aplicación de diferentes dosis de Dolomita e Hipoclorito de sodio</p> <p><b>DEPENDIENTE:</b> Precipitación de metales pesados en aguas acidas</p> <p>-Cobre (Cu) -Plomo (Pb) -Cadmio (Cd) -Arsénico (As) -Zinc (Zn)</p>	<p><b>TIPO</b> Experimental <b>ENFOQUE</b> Cuantitativo <b>DISEÑO</b></p> <p>X → </p> <p>Y →</p> <p>Donde. X=Dolomita CaMg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> Y=Hipoclorito de sodio (NaClO)</p> <p><b>FORMULA</b> <b>ESTADISTICA</b> ANOVA, Análisis de varianza <b>POBLACION</b> Agua de drenaje acido de la mina Volcan <b>MUESTRA:</b> Estará conformado por 50 litros de agua de drenaje acido de la mina Volcan</p>

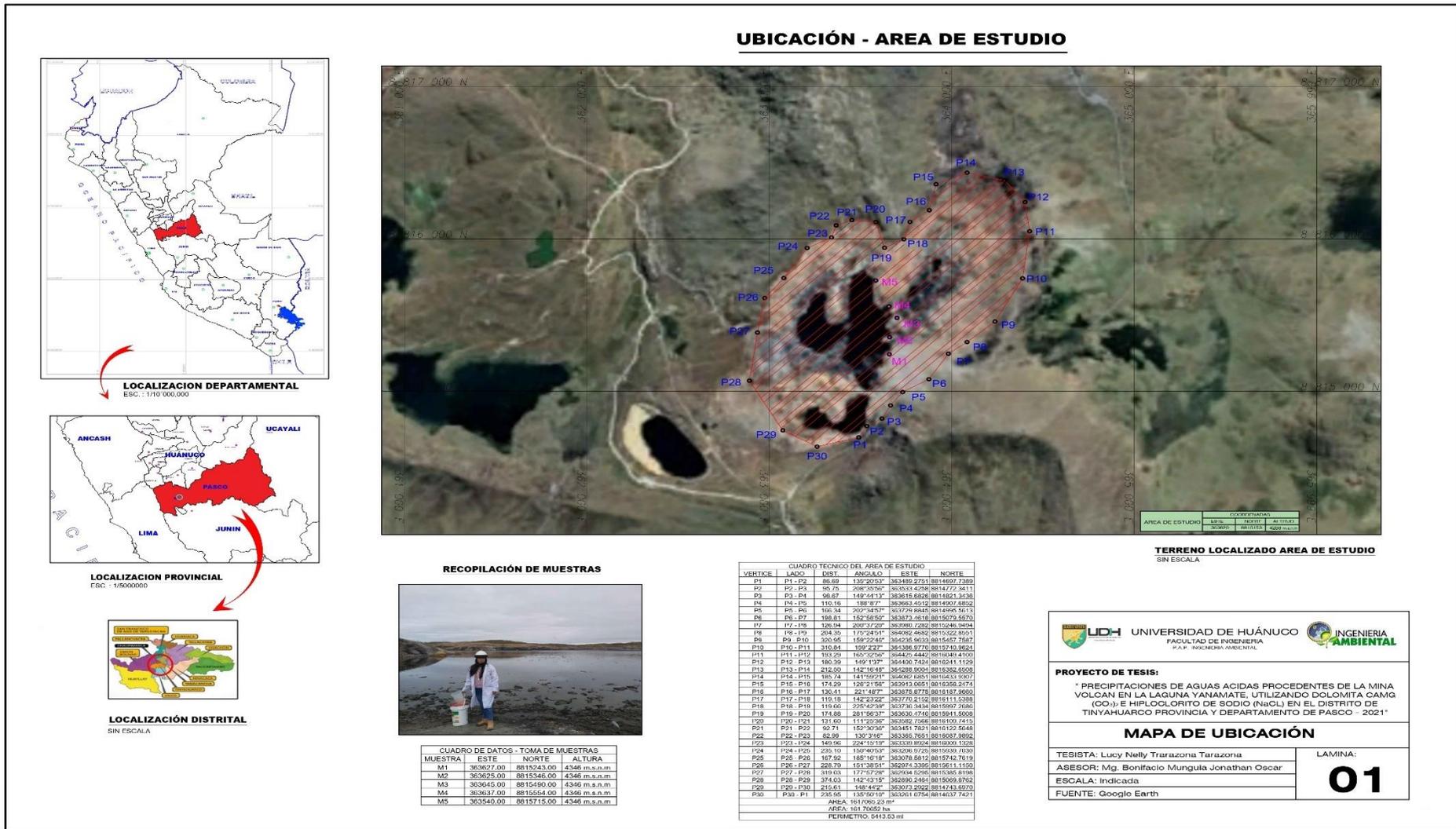
**Anexo 2 Diagrama de causas y efectos**



**Anexo 3** Diagrama de medios y fines



# Anexo 4 Ubicación del área en estudio



**UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO**  
FACULTAD DE INGENIERIA  
P.A.F. INGENIERIA AMBIENTAL

**PROYECTO DE TESIS:**  
"PRECIPITACIONES DE AGUAS ACIDAS PROCEDENTES DE LA MINA VOLCAN EN LA LAGUNA YANAMATE, UTILIZANDO DOLOMITA CAMG (CO<sub>3</sub>) E HIPOCLORITO DE SODIO (NaOCl) EN EL DISTRITO DE TINAHUARCO PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE PASCO - 2021"

**MAPA DE UBICACIÓN**

TESISTA: Lucy Nelly Tarazona Tarazona	LAMINA:
ASESOR: Mg. Bonifacio Mungula Jonathan Oscar	<b>01</b>
ESCALA: Indicada	
FUENTE: Google Earth	

# Anexo 5

Resultados de los análisis de agua de la laguna Yanamate, antes y después de la intervención.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Ecotoxicología  
 Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - Celular 944407531  
 analisisdesuelosunas@hotmail.com



## ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE:		TARAZONA TARAZONA LUCY NELLY			PROCEDENCIA:			LAGUNA YANAMATE - TINYAHUARCO - PASCO								
"EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE SOLOMITA E HIPOCLORITO DE SODIO EN LA PRECIPITACIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS ACIDAS PROCEDENTE DE LA MINA VOLCAN (LAGUNA YANAMATE), EN EL DISTRITO DE TINYAHUARCO, PASCO - 2021"																
DATOS DE LA MUESTRA		RESULTADOS EN BASE HUMEDA						RESULTADOS EN BASE SECA								
Código	Referencia	T °C	PH	CE uS/cm	Humedad Hd (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	Mg (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Pb (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)
M 898	muestra de la laguna M1	25.30	2.10	2683	98.73	0.06	1.22	4.35	95.63	42.6710	9.1441	9.7710	0.4087	264.2710	29.9614	0.1770
M 899	muestra con 50g dolomita	25.30	2.95	760	98.54	0.05	1.41	3.28	96.72	83.1840	60.9210	15.0250	0.0107	2.9420	16.7545	0.0102
M 900	muestra con 100g dolomita	25.30	2.98	785	98.66	0.04	1.31	2.84	97.16	153.6370	140.5780	23.3900	0.0089	0.3491	6.6770	0.0045
M 901	muestra con 50ml hipoclorito de sodio	25.30	2.84	4638	98.43	0.24	1.34	14.96	85.04	58.6970	170.8900	15.9874	0.0016	2.0505	12.6514	0.0082
M 902	muestra con 100ml hipoclorito de sodio	25.30	3.38	4931	98.15	0.14	1.71	7.60	92.40	88.2740	298.2450	27.4750	0.0013	0.3010	2.4285	0.0025
M 903	muestra de la laguna M2	25.40	2.72	811	98.69	0.09	1.22	7.24	92.76	10.5410	3.8412	2.7020	0.4570	232.4450	16.2218	0.0420
M 904	muestra con 50g dolomita	25.30	2.96	761	98.53	0.05	1.42	3.39	96.61	42.3700	30.3230	15.6570	0.0135	4.2454	8.7678	0.0025
M 905	muestra con 100g dolomita	25.30	3.00	784	98.59	0.02	1.39	1.41	98.59	73.9120	57.5820	19.8750	0.0058	0.2987	5.7174	0.0011
M 906	muestra con 50ml hipoclorito de sodio	25.40	2.86	1660	98.42	0.22	1.37	13.68	86.32	12.4720	64.5400	16.3300	0.0034	1.9933	5.6211	0.0019
M 907	muestra con 100ml hipoclorito de sodio	25.30	3.39	2213	97.76	0.18	2.06	8.22	91.78	20.4550	121.5420	28.4300	0.0022	0.2634	2.4740	0.0005
M 908	muestra de la laguna M3	25.30	2.69	840	98.60	0.03	1.37	2.29	97.71	14.7230	5.3487	5.0210	0.2345	235.3570	26.5499	0.0520
M 909	muestra con 50g dolomita	25.20	2.99	679	98.83	0.06	1.11	4.77	95.23	36.0400	46.0800	12.2140	0.0115	8.2547	16.0277	0.0027
M 910	muestra con 100g dolomita	25.30	3.01	682	98.73	0.06	1.21	4.71	95.29	62.1540	84.6470	14.8960	0.0052	0.4515	7.9645	0.0015
M 911	muestra con 50ml hipoclorito de sodio	25.20	3.19	1554	98.34	0.16	1.29	11.10	88.90	16.707	100.5420	17.6600	0.0016	2.0854	10.7455	0.0021
M 912	muestra con 100ml hipoclorito de sodio	25.30	4.21	2281	98.12	0.13	1.75	7.11	92.89	29.9100	163.7200	25.8500	0.0010	0.2589	5.4439	0.0010
M 913	muestra de la laguna M4	25.30	2.68	837	98.42	0.05	1.53	3.29	96.71	15.6780	5.3032	5.3720	0.2004	234.6320	26.5618	0.0640
M 914	muestra con 50g dolomita	25.40	2.98	677	98.62	0.04	1.34	2.92	97.08	31.9330	41.2740	18.1200	0.0102	3.5478	12.0455	0.0029
M 915	muestra con 100g dolomita	25.30	2.99	689	98.47	0.19	1.35	12.22	87.78	52.1830	92.6220	21.6000	0.0041	0.3598	5.9397	0.0019
M 916	muestra con 50ml hipoclorito de sodio	25.30	3.24	1676	98.48	0.20	1.32	12.98	87.02	18.0300	101.2540	20.8900	0.0017	1.3658	7.7844	0.0022
M 917	muestra con 100ml hipoclorito de sodio	25.40	4.23	2068	97.86	0.17	1.97	7.94	92.06	29.9500	171.2800	27.1600	0.0010	0.2316	2.5161	0.0011
M 918	muestra de la laguna M5	25.30	2.10	885	97.82	0.29	1.89	13.34	86.66	17.6540	5.8677	6.2140	0.2994	262.7400	29.7422	0.1200
M 919	muestra con 50g dolomita	25.30	2.97	543	99.19	0.10	0.71	12.06	87.94	31.6110	44.1100	14.9260	0.0147	5.5854	14.5885	0.0111
M 920	muestra con 100g dolomita	25.30	3.01	684	98.94	0.04	1.01	4.19	95.81	52.5270	89.2140	19.5400	0.0058	0.5452	8.8970	0.0084
M 921	muestra con 50ml hipoclorito de sodio	25.30	3.22	1396	98.81	0.13	1.06	10.84	89.16	19.5700	102.5400	16.5800	0.0019	1.3235	9.0997	0.0044
M 922	muestra con 100ml hipoclorito de sodio	25.20	3.88	2429	98.15	0.15	1.71	7.97	92.03	28.5420	172.8750	21.3200	0.0011	0.2758	4.2482	0.0018

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE  
 RECIBO N° 001-0636765  
 Tingo María 20 de octubre 2021



Mónica Mabeza  
 15/10/2021

VND, VALOR NO DETECTABLE

## Anexo 6

Resultados microbiológicos de los análisis de agua de la laguna Yanamate, antes y después de la intervención.



Universidad Nacional Agraria de la Selva  
**Laboratorio de Microbiología General**  
Tingo María

### SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N° : 001- 636764

**Muestra** : Agua ácida  
**Procedencia** : Laguna Yanamate – Distrito Tinyahuarco – Pasco.  
**Atención a** : Tarazona Tarazona Lucy Nelly  
**Fecha recepción** : 01 de octubre de 2021  
**Análisis solicitados:**

- Numeración de microorganismos aerobios viables
- Número más probable *Coliformes Totales*
- Número más probable de *Escherichia Coli*
- Investigación de *Staphylococcus*
- Investigación de *Salmonella*
- Investigación de *Vibrio cholerae*
- Numeración de mohos y levaduras
- Ph

### RESULTADOS:

Análisis Microbiológico		Valor referencial-ECA
- Numeración de microorganismos aerobios viables	: Ausencia	2 x10 <sup>3</sup> UFC/ml.
- Número más probable <i>Coliformes Totales</i>	: Ausencia	50 m.o./100ml.
- Numero más probable de <i>Escherichia coli</i>	: Ausencia	20 m.o/100 ml.
- Investigación de <i>Staphylococcus</i>	: Ausencia	Ausencia
- Investigación de <i>Salmonella</i>	: Ausencia	Ausencia (25 ml)
- Investigación de <i>Vibrio cholerae</i>	: Ausencia	Ausencia
- Numeración de mohos y levaduras	: Ausencia	1 x10 <sup>3</sup> m.o./mL
- pH	: 2.59	6.5 – 8.5

### CONCLUSIONES:

La muestra de agua ácida procesada con el pH de 2.59 no va existir microorganismos por la extrema acidez imposibilita su utilización.

Tingo María, 27 de octubre de 2021



*[Firma]*  
Dr. Mcblgo.Btcnlgo. César S. López López  
Laboratorio Microbiología General

## Anexo 7 Panel fotográfico

**Fotografía 1:** Reconocimiento del área de estudio



**Fotografía 2:** Toma de primera muestra de agua acida



**Fotografía 3:** control de inicial pH (in situ)



**Fotografía 4:** Preparación de materiales y equipos para el trabajo de laboratorio con las muestras



**Fotografía 5:** análisis en el laboratorio de las muestras y su reacción con las soluciones de Dolomita e Hipoclorito de Sodio



**Fotografía 6:** Lectura del pH de las muestras en el laboratorio



**Fotografía 7:** Comparación del pH por muestra, para verificar el mejor desempeño de las dosis aplicadas



**Fotografía 8:** Muestras Hipoclorito de Sodio, se puede evidenciar que el color en cada muestra es diferente por la variación de dosis



**Fotografía 9:** Peso de solución para determinar metales pesados en el espectrofotómetro



**Fotografía 10:** Análisis y lectura con espectrofotómetro de absorción atómica, para metales los pesados

