

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**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**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Ambiental**

**Autor: Bach Liz Yannela BERROSPI ALANIA**

**Asesor: Mg. Lucio ROJAS VITOR**

**Cerro de Pasco-Perú-2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**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**

**Sustentado y aprobado ante los miembros del jurado:**

**Mg. Rosario M. VASQUEZ GARCIA**  
**PRESIDENTE**

**Mg. David J. CUYUBAMBA ZEVALLOS**  
**JURADO**

**Mg. Luis A. PACHECO PEÑA**  
**JURADO**

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo de tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, lo dedico en primer lugar a Dios, quien me dio la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este trabajo, además de su infinito amor y bondad.*

*Con todo mi amor a mis padres Luis y Filomena, por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida.*

*A todas las personas que me han apoyado y han hecho que este trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.*

## RESUMEN

En cumplimiento a la normativa y específicamente con el Reglamento de Grados y Títulos de la facultad de Ingeniería de nuestra “Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión”, me permito presentar la Tesis Intitulada **“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”** con la finalidad de optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

El tratamiento de remediación con dolomita es un método alternativo de precipitación y purificación de drenajes ácidos de mina, logrando neutralizar y reducir las concentraciones de los iones de metales pesados, tales como el cobre, plomo, hierro y zinc presente en las aguas ácidas de la laguna Yanamate. La dolomita, es un mineral no metálico de carbonato doble de calcio y magnesio ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$ ), que se comporta como un efectivo reactivo de purificación de aguas contaminadas con AMD, debido a las propiedades fisicoquímicas de la neutralización, así como la adsorción de iones metálicos disueltos en las aguas ácidas.

Al aplicar la dolomita en nuestro trabajo experimental con pruebas de 10 y 25 g de dolomita para 500 ml de aguas ácidas, donde el pH inicial medido en P-1 era 1.91 y en P-2 era 1.96, con la aplicación de la dolomita mejoró.

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.

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/lit, 0.3002 mg/lit, 0.03452 mg/lit, 8.1359 mg/lit, respectivamente, para el caso del P-2 descendió el plomo, Hierro, Cobre, Zinc, en 0.0021mg/lit, 0.2449 mg/lit, 0.02479 mg/lit, 6.7898 mg/lit, respectivamente. Por lo tanto la dosis de 25 g de dolomita es adecuado para 500 ml de aguas ácidas para cumplir los ECA -Categoría 4.

Además, la dolomita ha demostrado ser eficiente alcanzando porcentajes de remoción 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.

**Palabras claves:** Dolomita, Laguna Yanamate, Escala Experimental, Aguas Ácidas y ECA -Categoría 4.

## SUMMARY

In compliance with the regulations and specifically with the Regulations of Degrees and Degrees of the Faculty of Engineering of our "National University Daniel Alcides Carrion", I allow myself to present the thesis entitled **"REMOVAL OF HEAVY METALS PRESENT IN THE ACID WATERS OF THE YANAMATE LAGOON BY MEANS THE APPLICATION OF THE DOLOMITE AS AN AGENT REMEDIANT TO EXPERIMENTAL SCALE-2019"** with the purpose of opting for the Professional Title of Environmental Engineer.

Dolomite remediation treatment is an alternative method of precipitation and purification of acid mine drainages, neutralizing and reducing the concentrations of heavy metal ions such as copper, lead, arsenic, zinc, and iron present in acidic water. The Yanamate lagoon. Dolomite is a non-metallic mineral of double carbonate of calcium and magnesium ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), which behaves as an effective water purification reagent contaminated with AMD, due to the physicochemical properties of neutralization, as well as adsorption of metal ions dissolved in acid waters.

When applying the dolomite in our experimental work with tests of 10 and 25 g of dolomite for 500 ml of acidic water, where the initial pH measured in P-1 was 1.91 and in P-2 it was 1.96, with the application of the dolomite it improved, with the dosage of 25 g of dolomite in the P-1 improved until

achieving a pH of 7.19 and in the case P-2 also improved reaching a pH of 7.35. Therefore, with the dose of 25 g of dolomite it is suitable for 500 ml of acidic waters with pH less than 2.

With respect to the total metals before the application of the dolomite it largely exceeded the ECA-Category 4, with 25 g of dolomite, in the P-1 the content of lead, Iron, Copper, Zinc, decreased by 0.0006 mg / l, 0.3002 mg / l, 0.03452 mg / l, 8.1359 mg / l, respectively, for the case from P-2 the lead, Iron, Copper, Zinc, fell by 0.0021mg / l, 0.2449 mg / l, 0.02479 mg / l, 6.7898 mg / l, respectively. Therefore, with the dose of 25 g of dolomite it is suitable for 500 ml of acidic waters to meet the ECA-Category 4.

In addition, dolomite has been shown to be efficient by metal removal rates, with 25 g of dolomite, in P-1, 96.16% of lead, 99.85% of iron, 99.32% of copper and 59.32% of zinc, and in the case of P-2 the removal percentage was 99.68% lead, 99. 88% iron, 99.12% copper and 66.05% zinc.

**Keywords:** Dolomite, Yanamate Lagoon, Experimental Scale, Acid Waters and ECA -Category 4.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	I
RESUMEN .....	II
SUMMARY .....	IV
ÍNDICE .....	VI
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	X
ÍNDICE DE IMÁGENES .....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XIV
CAPÍTULO I.....	16
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.1 Problema General: .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.2 Problemas Específicos: .....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 OBJETIVOS .....</b>	<b>20</b>
<b>1.3.1 Objetivo General: .....</b>	<b>20</b>
<b>1.3.2 Objetivos Específicos: .....</b>	<b>20</b>
<b>1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>21</b>
<b>1.5 IMPORTANCIA Y ALCANCE EN LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>22</b>
<b>1.6 LIMITACIONES .....</b>	<b>24</b>
CAPÍTULO II.....	25
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2 BASES TEÓRICO - CIENTÍFICOS .....</b>	<b>34</b>
<b>2.2.1 Problemática de las aguas de mina.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.2 Drenaje ácido de mina (AMD) .....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.3 Etapas de formación del AMD .....</b>	<b>40</b>
<b>2.2.4 Clasificación del AMD .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.5 Tratamiento del AMD .....</b>	<b>44</b>
<b>2.2.6 Sistemas de tratamiento activo .....</b>	<b>45</b>
<b>2.2.7 Sistemas de tratamiento pasivo .....</b>	<b>47</b>
<b>2.2.8 La dolomita y usos para tratar el drenaje ácido de mina AMD.....</b>	<b>47</b>

2.2.9	Dolomitización .....	48
2.2.10	Estructura de los minerales del grupo de la dolomita .....	49
2.2.11	Propiedades Fisicoquímicas de la dolomita .....	50
2.2.12	Yacimientos de la Dolomita en Perú.....	52
2.2.13	Principales usos .....	53
2.2.14	Mecanismos de Remoción de Metales Pesados .....	55
2.2.15	Monitoreo del agua .....	57
2.2.15.1	Actividades de Monitoreo .....	57
2.2.15.1.1	Trabajo de pre Campo .....	57
2.2.15.1.2	Trabajo de Campo .....	58
2.2.15.1.3	Toma de Muestras por Parámetro .....	60
2.2.15.1.4	Preservación de las muestras de agua: .....	64
2.2.15.1.5	Identificación de las muestras de agua: .....	64
2.2.15.1.6	Marco Legal para Actividades de Monitoreo de Agua.....	65
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS: .....	67
2.4	HIPÓTESIS .....	72
2.4.1	Hipótesis General.....	72
2.4.2	Hipótesis Específicos .....	72
2.5	IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES .....	73
2.5.1	VARIABLE INDEPENDIENTE .....	73
2.5.2	VARIABLE DEPENDIENTE.....	73
2.5.3	VARIABLES INTERVINIENTES.....	73
CAPÍTULO III.....		74
METODOLOGÍA .....		74
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	74
3.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	74
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	75
3.3.1	Población .....	75
3.3.2	Muestra.....	75
3.4	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN .....	77
3.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	77
3.5.1	TÉCNICAS:.....	77

3.5.2	INSTRUMENTOS.....	79
3.6	ÁREA DE ESTUDIO .....	81
3.7	MUESTREO DE LAS AGUAS ÁCIDAS EN LA LAGUNA YANAMATE .....	84
3.8	PRUEBAS EXPERIMENTALES A NIVEL DE LABORATORIO DE LAS AGUAS ÁCIDAS EN LA LAGUNA YANAMATE CON LA APLICACIÓN DE LA DOLOMITA .....	87
	CAPÍTULO IV .....	95
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	95
4.1	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	95
4.2	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	116
4.3	PRUEBA DE HIPÓTESIS .....	119
	CONCLUSIONES .....	120
	RECOMENDACIONES .....	124
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	125
	ANEXOS .....	129

## ÍNDICE DE CUADROS

Tabla N° 01. Resultados del análisis de metales pesados (ppm) en muestras de agua de la Laguna Yanamate (Color rojo: valores que superan los ECAs).....	37
Tabla N° 02. Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales.....	44
Tabla N° 03. Información General de la Dolomita.....	51
Tabla N° 04. Ubicación Geográficas de los Puntos de Monitoreo.....	76
Tabla N° 05. Resultados de los Parámetros Físicos con 10 g de Dolomita.....	96
Tabla N° 06. Resultados de los Parámetros Físicos con 25 g de Dolomita .....	96
Tabla N° 07. Resultados de los Parámetros Químicos con 10 g de Dolomita.....	101
Tabla N° 08. Resultados de los Parámetros Químicos con 25 g de Dolomita.....	102
Tabla N° 09: Porcentaje de Remoción de Metales con Aplicación de Dolomita con 10 g para los puntos de Monitoreo P-1 y P-2.....	104
Tabla N° 10: Porcentaje de Remoción de Metales con Aplicación de Dolomita con 25 g para los puntos de Monitoreo P-1 y P-2.....	105

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01: Resultado del Parámetro pH con Dosificación de 10 g de Dolomita.....	97
Gráfico N° 02: Resultado del Parámetro pH con Dosificación de 25 g de Dolomita.....	97
Gráfico N° 03: Resultado del Parámetro Conductividad Eléctrica con Dosificación de 10 g de Dolomita.....	98
Gráfico N° 04: Resultado del Parámetro Conductividad Eléctrica con Dosificación de 25 g de Dolomita.....	98
Gráfico N° 05: Resultado de Plomo con Dosificación de 10 g de Dolomita.....	106
Gráfico N° 06: Resultado de Plomo con Dosificación de 25 g de Dolomita.....	106
Gráfico N° 07: Resultado de Hierro con Dosificación de 10 g de Dolomita.....	107
Gráfico N° 08: Resultado de Hierro con Dosificación de 25 g de Dolomita.....	107
Gráfico N° 09: Resultado de Cobre con Dosificación de 10 g de Dolomita.....	108
Gráfico N° 10: Resultado de Cobre con Dosificación de 25 g de Dolomita.....	108
Gráfico N° 11: Resultado de Zinc con Dosificación de 10 g de Dolomita.....	109
Gráfico N° 12: Resultado de Zinc con Dosificación de 25 g	

de Dolomita.....	109
<b>Gráfico N° 13: Resultado de Calcio con Dosificación de 10 g</b>	
de Dolomita.....	110
<b>Gráfico N° 14: Resultado de Calcio con Dosificación de 25 g</b>	
de Dolomita.....	110
<b>Gráfico N° 15: Resultado de Magnesio con Dosificación</b>	
de 10 g de Dolomita.....	111
<b>Gráfico N° 16: Resultado de Magnesio con Dosificación</b>	
de 25 g de Dolomita.....	111

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 01: Ubicación de la Laguna Yanamate.....	82
Imagen N° 02: P-1: Agua Superficial de Lago.....	83
Imagen N° 03: P-2: Agua Superficial de Lago.....	83
Imagen N° 04: Monitoreo de Parámetros Físicos.....	85
Imagen N° 05: Toma de Muestra de Aguas Ácidas (P-1).....	85
Imagen N° 06: Toma de Muestra de Aguas Ácidas (P-2).....	86
Imagen N° 07: Muestras de Aguas Trasladas al Laboratorio.....	86
Imagen N° 08: Reactor – Preparado por la Investigadora.....	88
Imagen N° 09: Muestras de 500 ml de agua ácida.....	89
Imagen N° 10: Pesado de Dolomita 10 gr y 25 gr.....	90
Imagen N° 11: Adición de la Dolomita de 10 gr y 25 gr.....	90
Imagen N° 12: Disolviendo las dosis con el Reactor.....	91
Imagen N° 13: Muestra Precipitada de Solidos y Medición de pH y Conductividad.....	92
Imagen N° 14: Muestras Después del Ensayo Preservadas para su Análisis.....	93
Imagen N° 15: Acondicionado de Muestras.....	93
Imagen N° 16: Envío de Muestras Para su Análisis al Laboratorio SGS.....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 01: Diagrama esquemático de la planta de neutralización de caliza / dolomita.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura N° 02: Etapas en la formación de aguas ácidas.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura N° 03: Estructura de la dolomita.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura N° 04: ECA Para Lagos y Lagunas Categoría 4.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura N° 05: Ubicación de la Laguna Yanamate.....</b>	<b>81</b>

## INTRODUCCIÓN

La laguna Yanamate está situada en las estribaciones occidentales de la Cordillera Central en la sierra central del Perú, a 3.2 km al sur oeste de la Ciudad de Cerro de Pasco en el Distrito Tinyahuarco, Provincia y Región de Pasco. Se ubica a una distancia aproximada de 130 Km al norte de La Oroya y a 310 Km de Lima, a una altitud de 4266 m.s.n.m.

Las descargas de drenajes ácidos de mina (AMD) a la laguna Yanamate ha provocado la contaminación de dicho cuerpo y con ello un sin número de efectos ecológicos. La laguna Yanamate representa el símbolo del desastre ecológico causado por la secular extracción de minerales en la zona de Cerro de Pasco.

La investigación tiene como referencia del antecedente relacionada a lo realizado por (Romero, y otros, 2010) "Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita" demostró que la dolomita funciona como neutralizante y adsorbente de cobre y otros iones generadores de acidez en efluentes metalúrgicos de flotación y de lixiviación. Para la realización de este trabajo se utilizó la dolomita natural y la dolomita comercial. Los resultados revelaron que la muestra que fue tratado con dolomita natural tratada, presenta porcentaje de reducción de cobre, con un valor de 94,47%, puesto que la concentración inicial de cobre en el efluente de flotación fue de 0,561 g/lit (561 ppm) y luego de ser tratado con dolomita,

su concentración se redujo hasta el valor de 0,031 g/lt (31ppm). Y la muestra que fue tratado con dolomita comercial tratada, presenta porcentaje de reducción de cobre, con un valor de 95,18%, puesto que la concentración inicial de cobre en efluente de flotación fue de 0,519 g/lt (561 ppm) y luego de ser tratado con dolomita, su concentración se redujo hasta el valor de 0,025 g/lt (31ppm), demostrando de esta manera que la dolomita es viable para tratamiento de aguas ácidas de mina.

**La Autora.**

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA**

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 en el distrito de Tinyahuarco, era una laguna natural que fue usada como depósitos de AMD desde el año 1981 por la Empresa Minera del Centro

del Perú (Centromín). Ahora es una laguna desecada donde 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.

Estudios anteriores demostraron en las aguas de la laguna Yanamate que el pH ultra ácido es de 1.7 denota una situación muy severa de esta ex laguna natural, situada a solo 50 metros de la carretera provincial y desprovista de cualquier tipo de límites de ingreso o protección o aviso de peligrosidad para las personas. Conductividad, TDS y metales totales son extremadamente altos, respectivamente superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua (DS N° 004-2017-MINAM). Aluminio (aunque no existe un límite) está presente en altas concentraciones (521 mg/l). El zinc tiene una concentración media de 152 mg/l (casi 1200 veces el límite ECA). Plomo varía entre 0,1564 mg/l y 0,6537 mg/l con un valor promedio de 0,405 mg/l (casi 162 veces el límite ECA). El cobre presenta una concentración media 26.5 mg/l (Casi 265 veces el límite ECA). El hierro tiene una concentración mayor a 200 mg/l. Como consecuencia, la laguna Yanamate se convirtió en una alberca química que se está secando y así concentrando su potencial tóxico. Áreas naturales, parte del frágil y único ecosistema andino, fueron convertidos en sitios sin vida. Son fuentes de alto riesgo y grave para la población, el ambiente y la

biodiversidad por su alto grado de acidez y alta carga tóxica de metales pesados.

Por lo expuesto anteriormente es importante 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.

Por lo tanto, aplicamos la dolomita como agente remediante en muestras de aguas ácidas de la laguna Yanamate con la finalidad de neutralizar y reducir las concentraciones de los metales pesados, tales como el Cobre, Plomo, Hierro, Cadmio, Arsénico y Zinc hasta lograr niveles por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua (DS N° 004-2017-MINAM)-Categoría 4.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema General:**

¿En qué medida la aplicación de la dolomita como agente remediante removerá los metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate a escala experimental?

### **1.2.2 Problemas Específicos:**

**1.2.2.1** ¿Cuáles son los valores de pH que se obtendrá aplicando la dolomita como agente remediante en las aguas ácidas de la laguna Yanamate?

**1.2.2.2** ¿Cuáles son los metales pesados que pueden removerse en las aguas ácidas de la laguna Yanamate aplicando la dolomita?

**1.2.2.3** ¿Cuál es la reducción porcentual de las concentraciones de metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate mediante la aplicación de la dolomita?

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General:**

Determinar la eficiencia de remoción de los metales pesados en las aguas ácidas de la laguna Yanamate mediante la aplicabilidad de la dolomita como agente remediante.

### **1.3.2 Objetivos Específicos:**

**1.3.2.1** Determinar los valores de pH que se obtendrá aplicando la dolomita como agente remediante en las aguas ácidas de la laguna Yanamate.

**1.3.2.2** Determinar los metales pesados que serán removidos en las aguas ácidas de la laguna Yanamate aplicando la dolomita.

**1.3.2.3** Determinar el porcentaje de reducción de las concentraciones de metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate mediante la aplicación de la dolomita.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Las descargas de AMD a la laguna Yanamate provenientes de la empresa minera Centromín Perú desde el año 1981, ha provocado la contaminación de dicho cuerpo y con ello un sin número de efectos ecológicos. La laguna Yanamate 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 convertidos en sitios sin vida. Son fuentes de alto riesgo y grave para la población, el ambiente y la biodiversidad por su alto grado de acidez y alta carga tóxica de metales pesados.

Se han desarrollado diversos estudios para el tratamiento de las aguas ácidas de la laguna Yanamate 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 preciso urgencia buscar otras alternativas viables y económicas para recuperar dicho cuerpo de agua.

La tesis denominada ***“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”*** 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 la misma.

Cabe resaltar que este tratamiento es considerado como una alternativa de solución a la generación de efluentes metalúrgicos por el empleo de la dolomita, el cual es un mineral no metálico de carbonato doble de calcio y magnesio ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$ ), 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.

### **1.5 IMPORTANCIA Y ALCANCE EN LA INVESTIGACIÓN**

Debido a la inminente contaminación ambiental que presenta la laguna Yanamate con altas concentraciones de metales pesados y alto grado de acidez, esta investigación puede contribuir a la solución de la misma, ya que la aplicación de la dolomita es una alternativa de mitigación concreta para la solución del problema de la contaminación del agua con metales

pesados, por los que sus resultados serán de alta relevancia ya que se trata de un sistema de tratamiento económico con altos rendimientos teóricos en remoción de metales pesados, sin la adición permanente de reactivos.

Diversos estudios han demostrado la factibilidad de utilizar la dolomita para tratamientos de aguas. Debido a sus propiedades físico químicas, ha sido usada para el proceso de descontaminación de los efluentes, que comprende procedimientos simultáneos de la neutralización de la acidez en las aguas, la precipitación de metales pesados y la absorción de los iones metálicos disueltos en las aguas ácidas.

La función más importante de esta investigación es mejorar notablemente la calidad del agua en la laguna Yanamate mediante la neutralización y reducción de metales pesados. La aplicación de la dolomita suministra efectividad y bajos costos de tratamiento para diversos tipos de efluentes, removiendo grandes cantidades de metales pesados y neutralizando el pH.

Asimismo, la aplicación de la dolomita para remediación de las aguas ácidas de la laguna Yanamate propone establecer una metodología de trabajo que desarrolle una tecnología limpia a nivel de laboratorio, con

perspectivas a desarrollar la misma tecnología a nivel de planta piloto, con el posterior desarrollo de una planta de tratamiento factible de remediación de drenajes ácidos de mina.

## **1.6 LIMITACIONES**

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 dificultaron en la toma de muestra de agua de la laguna Yanamate.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES**

La dolomita, debido a sus propiedades físico químicas, ha sido usada para el proceso de descontaminación de los efluentes , que comprende procedimientos simultáneos de la neutralización de la acidez en las aguas, la precipitación de metales pesados y la absorción de los iones metálicos disueltos en las aguas ácidas. Esto conlleva a reducir los parámetros de los valores inorgánicos por debajo de los límites máximos permisibles y el estándar de calidad del agua. (Camara Minera del Peru, 2017) Prueba de ello lo constituye el gran número de artículos, revistas y estudios de investigación.

- A. Agnieszka Gruszecka-Kosowska; Paweł Baran; Magdalena Wdowin y Wojciech Franus **“Polvo de dolomita residual como adsorbente de Cd, Pb (II) y Zn en soluciones acuosas”**. Environ Earth Sci. Cracovia- Polonia. 2017.

### **Resumen**

Se investigó los experimentos de absorción de los iones Cd, Zn y Pb (II) en soluciones acuosas con polvo de dolomita residual. El análisis de absorción de metales pesados en polvo de dolomita residual mostró muy buenas propiedades de adsorción del material. El polvo de dolomita adsorbió casi el 100% de los iones Cd, Pb (II) y Zn que están presentes en la solución a las concentraciones de metal iniciales seleccionadas de 500, 1000 y 2000 mg / dm<sup>3</sup>. La aplicación de varios tiempos de contacto (45, 90 y 180 minutos) demostró que todo el proceso de absorción se completó tan pronto como después de 45 minutos de tiempo de contacto. Nuestros experimentos con varias dosis de adsorbente (0,5, 1 y 2 g) mostraron que, independientemente de la dosis de adsorbente aplicada, los valores de adsorción de Cd, Pb (II) y Zn no eran inferiores al 97%. Los mejores resultados de adsorción de los experimentos con varios elementos se lograron al eliminar Pb (II) de las soluciones acuosas, donde la adsorción de cada metal se encontraba en el nivel del 99% a partir de 2000 mg/dm<sup>3</sup> de la concentración inicial. Sin embargo, la

absorción de Cd y Zn disminuyó con mayores concentraciones de elementos múltiples iniciales: de 42 a 47%, respectivamente, en la concentración de elementos múltiples de 500 mg / dm<sup>3</sup> a 19 y 17%, respectivamente, en la concentración de elementos múltiples de 2000 mg / dm. Los resultados sugieren que el polvo de dolomita residual se puede considerar para su aplicación como absorbente en la purificación de aguas residuales.

- B.** Salameh Yousef; Ahmad B Albadarin; Stephen Allen; Gavin Walker y M.N.M Ahmad “**Arsenic (III, V) adsorption onto charred dolomite: Charring optimization and batch studies**”. School of Chemistry and Chemical Engineering, Queen’s University Belfast. Northern Ireland, UK. 2014.

### **Resumen**

Se investiga la eliminación de arsénico en soluciones acuosas con dolomita procesada térmicamente. La dolomita fue calcinada a temperaturas de 600, 700 y 800 C durante 1, 2, 4 y 8 h. Se llevaron a cabo experimentos isotérmicos en estas muestras en un amplio rango de pH. Una eliminación de arsénico completa se logró en el rango de pH estudiado cuando se utiliza la dolomita carbonizado 800 ° C. Sin embargo, a esta temperatura, la degradación térmica de la dolomita debilita su estructura debido a la descomposición del Carbonato de

magnesio, que conduce a una disolución parcial. El óptimo adsorbente dolomítico elegido para futuras investigaciones fue el material de 8 h a 700°C. Se han realizado investigaciones iniciales sobre esta dolomita calcinada para determinar su potencial como un adsorbente. Las capacidades máximas de adsorción de dolomita calcinada de iones de arsenito y arseniato son 1,846 y 2,157 mg / g, respectivamente. Los datos sugieren que el proceso de calcinación permite la disociación de la dolomita a carbonato de calcio y óxido de magnesio, que acelera el proceso de óxido de arsénico y precipitación de carbonato de arsénico.

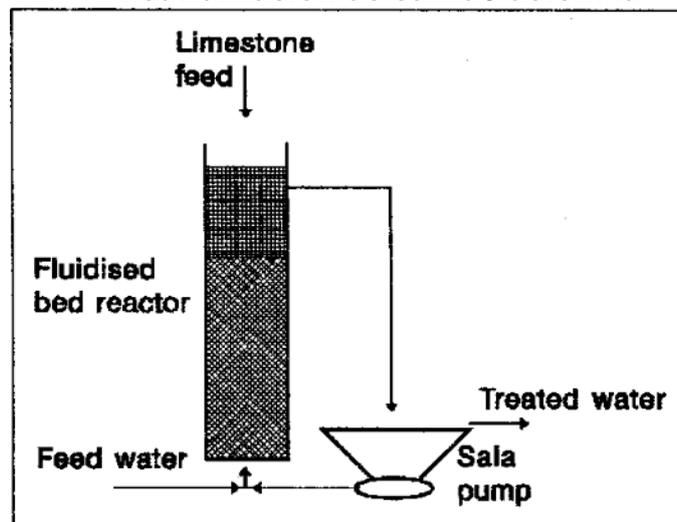
- C. G J Van Tonder; J P Maree y P Millard. **“Neutralización del agua ácida de mina de carbón con dolomita en un reactor de lecho fluidizado”** 5<sup>th</sup> international Mine Water Congress. Nottingham-Reino Unido. 1994.

#### **Resumen**

Realizaron un estudio de tratamiento de aguas ácidas proveniente de la mina de carbón Hlobane Collieries en Natal (Sudafrica) con dolomita en un reactor de lecho fluidizado, un reactor de cono (parte superior de la bomba de Sala) y una bomba de reciclaje (bomba de sala) Figura N° 01. El propósito del agua de cono era permitir que las partículas finas de dolomita eliminadas del reactor de lecho fluidizado

se sedimentaran y regresaran al reactor de lecho fluidizado a través de la bomba de reciclaje. Se empleó una velocidad de alimentación de 1,25 l / min y una velocidad de recirculación de 50 l / min. Entre 20 y 22 kg de dolomita estuvieron presentes en el reactor en cualquier momento. La tasa de recirculación se estableció para fluidificar la dolomita. Se usó una bomba de diafragma para alimentar agua ácida de cualquiera de las aguas ácidas.

**Figura N° 01: Diagrama esquemático de la planta de neutralización de caliza / dolomita**



Fuente: (G J Van Tonder, y otros, 1994)

El estudio concluyó que la composición química del agua ácida de la mina se puede mejorar tratándola con el proceso de neutralización de la dolomita: un tiempo de contacto de 15 minutos entre el agua ácida y la dolomita fue suficiente para aumentar el pH de 2,5 a 6,5. El contenido de ácido se redujo de 600 a menos de 50 mg / l (como CaCO<sub>3</sub>). Las impurezas en la dolomita se lavaron durante el proceso.

Sin embargo, los niveles de calcio y magnesio aumentaron debido a su presencia en la dolomita que se utilizó.

En el Perú también se han realizado investigaciones para la retención de metales con el uso de dolomita como adsorbente en forma de polvo.

D. Alfredo Bruce Howard, Aparicio Rodríguez y Jesús Manuel, Prada Cabana. **“Tratamiento Integral de Remediación de Efluentes de Aguas Provenientes de la Presa de Relaves De Cerro Verde a Través del Proceso de Precipitación de Iones Metálico con Dolomita como Agente Remediante”**. Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa. Arequipa-Perú. 2018.

#### **Resumen**

Estudio de tesis realizado con el objetivo de demostrar que la Dolomita como Agente Remediante es una solución técnica al problema de generación de aguas ácidas. Se trabajaron con dos tipos de Dolomita, Dolomita calcinada y sin calcinar. Al tratar el efluente metalúrgico con la Dolomita calcinada y sin calcinar se concluye que el porcentaje de reducción de cobre (95.89%) es mayor cuando el efluente se trata con Dolomita sin calcinar, esto se explica debido a que las propiedades de la Dolomita cambian al calcinarse a una

temperatura de 700°C a 1000°C transformándose en óxidos de magnesio y de calcio por eliminación del dióxido de carbono.

- E. Lucas Rosales, Jorge Jonathan y Romero Damas, Liz Rocío. **“Determinación del pH y el tamaño de partícula óptimos en la remoción de arsénico con dolomita del agua potable de Jauja Metropolitana”**. Universidad Nacional Del Centro Del Perú. Huancayo-Perú. 2015.

#### **Resumen**

La dolomita de Comacsa permite una mayor adsorción de arsénico en agua potable con mayor eficiencia de remoción de arsénico. Los niveles más adecuados de las variables según los experimentos realizados en la tesis de investigación son un pH 7 y un tamaño de partícula de dolomita 38 micrones, bajo estas condiciones se logró remover el 99,83% de arsénico presente en la muestra de agua de manantial; se reduce la concentración de arsénico de 0,0543 mg/L a 0,000093mg/L.

- F. Alfonso A. Romero; Silvana L. Flores y Walter Arévalo. **“Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita”**. Industrial Data, vol. 13, núm. 1, enero-julio, 2010, pp. 85-90. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima- 2010.

**Resumen:**

Demostó que la dolomita funciona como adsorbente de cobre y otros iones generadores de acidez en efluentes metalúrgicos de flotación y de lixiviación. Para la realización de este trabajo se utilizó la dolomita natural y la dolomita comercial. Los resultados revelaron que la muestra que fue tratado con dolomita natural tratada, presenta porcentaje de reducción de cobre, con un valor de 94,47%, puesto que la concentración inicial de cobre en el efluente de flotación fue de 0,561 g/lit (561 ppm) y luego de ser tratado con dolomita, su concentración se redujo hasta el valor de 0,031 g/lit (31ppm). Y la muestra que fue tratado con dolomita comercial tratada, presenta porcentaje de reducción de cobre, con un valor de 95,18%, puesto que la concentración inicial de cobre en efluente de flotación fue de 0,519 g/lit (561 ppm) y luego de ser tratado con dolomita, su concentración se redujo hasta el valor de 0,025 g/lit (31ppm), demostrando de esta manera que la dolomita es viable para tratamiento de aguas ácidas de mina.

- G. Flores Chávez Silvana. “Tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos con énfasis en el abatimiento de cobre con dolomita”. Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Lima. 2009.**

**Resumen:**

Para las pruebas experimentales del Tratamiento de Remediación de Efluente Metalúrgicos, se emplearon dos tipos de dolomita: Dolomita Natural de Tingo María y Dolomita Comercial de Agregados Calcáreos, las cuales fueron empleadas en estado sin calcinar y estado calcinado a las temperaturas de tostación de 500°C, 600°C, 700°C, 800°C, 900°C y 1000°C. Siendo las temperaturas óptimas de tostación las de 700°C y 1000°C, puesto que los efluentes metalúrgicos tratados con dolomita calcinada a estas temperaturas lograron mayor porcentaje de reducción de cobre, en valores en el rango de 94.5-97.39%. Pudiendo concluir que la dolomita funciona como adsorbente de cobre y otros iones generadores de acidez en Efluentes Metalúrgicos de Flotación y de Lixiviación.

Considerando los resultados de los estudios previos y por su importancia que se está dando a la Dolomita el día de hoy, se puede afirmar que la Dolomita es un mineral natural que se puede utilizar como una alternativa eficiente para la remoción de metales pesados de las aguas ácidas de Yanamate.

## **2.2 BASES TEÓRICO - CIENTÍFICOS**

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)

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).

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-Bôas, y otros, 2001).

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 (Golder Associates Perú S.A., 2000).

En 1999, la unidad de Cerro de Pasco pasa a poder de la Compañía Minera Volcan 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. (Mejía Cervantes, 2018)

Hoy en día, la laguna Yanamate es un pasivo ambiental. 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 convertidos 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. Estudios realizados recientemente de la laguna Yanamate demostraron los siguientes resultados:

**Tabla N° 01. Resultados del análisis de metales pesados (ppm) en muestras de agua de la Laguna Yanamate (valores que superan los ECAs).**

Metales (mg/l)	Laguna Yanamate	DS N° 004-2017-MINAM ECA Cat.4 (Lagunas)
Arsénico	<b>12.7</b>	0,15
Cadmio	<b>0.5</b>	0,00025
Cobre	<b>26.5</b>	0,1
Mercurio	<b>&lt;0.010</b>	0.0001
Niquel	<b>0.073</b>	0,052
Plomo	<b>0.217</b>	0,0025
Selenio	<b>&lt;0.010</b>	0.005
Talio	<b>&lt;0.016</b>	0.0008
Zinc	<b>152</b>	0.12

Información comparada con los ECAs del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (Evaluación de la diversidad de algas fitoplactónicas como indicadores de la calidad del agua en lagunas altoandinas del departamento de Pasco, 2018). Todos estos valores superan los estándares de calidad de agua.

### **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).

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).

### **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). 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-Bôas, y otros, 2001). Los AMD además de un bajo pH contienen gran cantidad de sólidos en suspensión con un alto contenido en sulfatos y metales (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Ni), del orden de varios cientos de miligramos por litro. (Medina Quispe, 2018).

Las reacciones físico-químicas 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-Bôas, y otros, 2001).

La consecuencia directa de la actividad minera al llevar a cabo la explotación de un yacimiento es la geodisponibilidad 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).

### **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), como se observa en la Fig. 1.

#### **1ª etapa.**

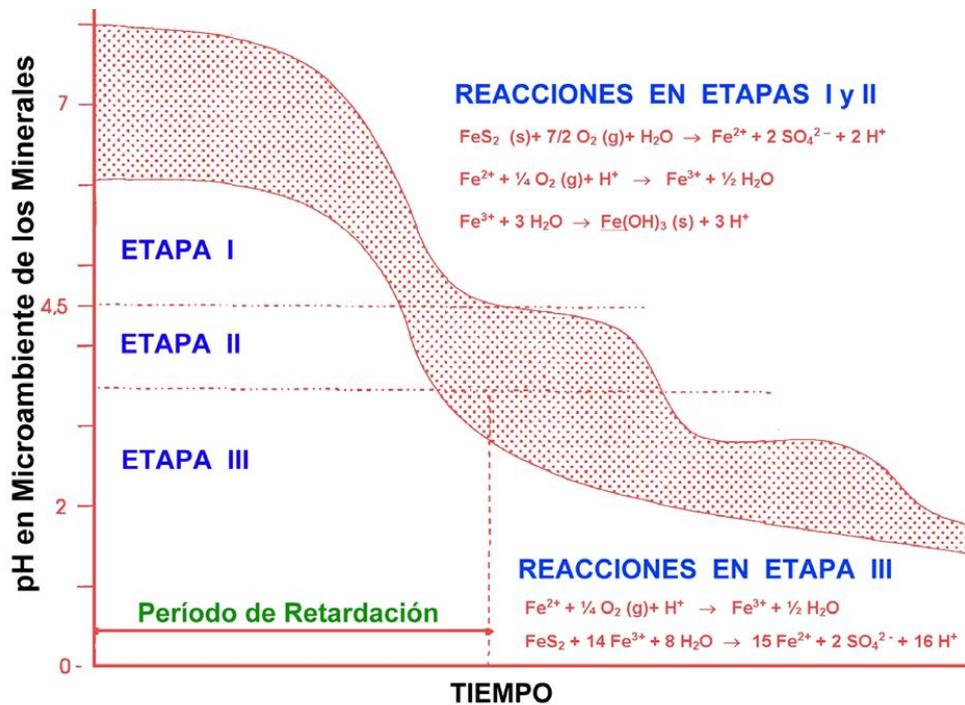
La oxidación de minerales sulfurosos libera hierro ferroso que bajo condiciones neutras se oxida químicamente y se transforma a hierro férrico que precipita como hidróxido y aporta acidez al medio. En esta etapa del proceso la velocidad de oxidación es baja

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)

### **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)

Figura N° 02: Etapas en la formación de aguas ácidas.



Fuente: Aguas ácidas de mina, generación y tratamiento. (Aduvire , 2006)

### 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 afectado 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)

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  $10^5$  y  $10^6$  veces respecto al mecanismo directo). (Aduvire , 2006)

#### **2.2.4 Clasificación del AMD**

Depende de varios factores la clasificación de los drenajes de mina. Morin K y Hunt N (2001) en una investigación clasifico al AMD en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales de acuerdo a la tabla N° 01.

**TABLA N° 02. Clasificación de drenajes en función del pH y el potencial de acidez/alcalinidad de los minerales**

<b>CLASE</b>	<b>pH</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Ácido</b>	<b>&lt; 6</b>	<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>	<b>&gt; 9 ó 10</b>	<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>	<b>6 – 9 ó 10</b>	<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>	<b>Irrelevante</b>	<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>

Fuente: (Morin, K. ; Hutt, N., 2001)

### **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)

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

tratada 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 Luyo, 2015), existen otras tecnologías como son:

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

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

### **2.2.7 Sistemas de tratamiento pasivo**

Los sistemas pasivos son aplicables, cuando suelen responder mejor a un análisis costo/beneficio desde el punto vista económica y medioambiental. Así, las denominadas tecnologías pasivas utilizan los procesos naturales químicos y biológicos que mejoran la calidad del agua. Idealmente, un tratamiento pasivo no requiere utilización de reactivos químicos y poco o nada de mantenimiento. (Inga Blancas , 2011). En los que la intervención del hombre es mínima, tal como sucede con los humedales, drenajes anóxicos calizos, sistemas de producción de alcalinidad y otros. El objetivo principal de los métodos de tratamiento de las aguas ácidas es la supresión de la acidez, la precipitación de los metales pesados y la eliminación de sustancias contaminantes como sólidos en suspensión, arseniatos, antimoniatos y otros. (Aduvire , 2006)

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

#### **Dolomita**

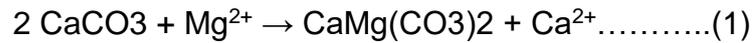
La dolomita es un mineral compuesto por carbonato de calcio y magnesio que fue descubierto por el geólogo francés Déodat Gratet de Dolomieu. (B, 2017), que fue quien en los Alpes franceses descubrió y anotó la no efervescencia en HCl en frío de una roca calcárea. (Moreno Ramón, y otros). Y en cuyo honor 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. (Bruce Howard , y otros, 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 Rosales, y otros, 2015).

### **2.2.9 Dolomitización**

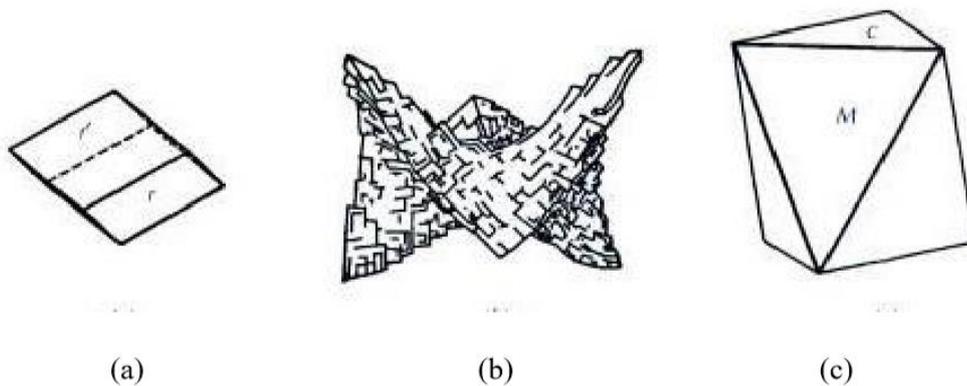
Las dolomías se originan como consecuencia de procesos post sedimentarios: las calizas, formadas por los procesos antes descritos, pueden ponerse en contacto con aguas enriquecidas en magnesio, lo que da origen al proceso llamado de Dolomitización, ecuación 1: (Bruce Howard , y otros, 2018)



### 2.2.10 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 N° 03. Estructura de la dolomita**



Los cristales están formados generalmente por el romboedro fundamental (figura N° 03.a). Otras veces por un romboedro agudo y una base (figura N° 03.c). Caras curvas con frecuencia, algunas tanto que forman cristales en forma de silla de montar (figura N° 03.b). Las otras formas son raras, aparecen en masas exfoliables granuladas gruesas o finas y compactas. (Lucas Rosales, y otros, 2015)

### **2.2.11 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 , y otros, 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 Alarcon, y otros, 2012). Otra propiedad importante es que permite reducir otras sustancias contaminantes como arseniatos, antimoniatos, sólidos en suspensión y otros. (Bruce Howard , y otros, 2018)

**TABLA Nº 03. Información General de la Dolomita:**

Formula Química:  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

<b>Composición:</b>	<b>Porcentaje:</b>	<b>Peso Molecular= 184.40 g</b>
Calcio	21.73% Ca	30.41% CaO
Magnesio	13.18% Mg	21.86% MgO
Carbono	13.03% C	47.73% CO <sub>2</sub>
Oxígeno	52.06% O	
	100.00%	100.00 % =Total de óxidos
Formula Empírica:	CaMg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	
Grupo Mineral:	Carbonatos	
<p>IMA Status: Especie válida (Pre-IMA) desde 1791</p> <p>Localidad: Véneto y Trentino-Aito Adagio, Alpes Italianos.</p> <p>Nombre Original: Llamada así en honor al geólogo francés Deodat Dolomieu quien la descubrió. Sistema cristalino: Trigonal</p> <p>Clase: Romboédrico <u>3</u></p>		

Parámetros de celda:  $a = 4.8012 \text{ \AA}$ ,  $c = 16.002 \text{ \AA}$

Cociente:  $a : c = 1 : 3.333$

Volumen:  $V = 319.45 \text{ \AA}^3$  (calculado para la celda unitaria)

Color: blanco, gris rosado o negro, pero predomina el incoloro o blanco grisáceo.

Densidad:  $2.8 - 3.1 \text{ g/cm}^3$

Promedio =  $2.84 \text{ g/cm}^3$

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

### **2.2.12 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 Rosales, y otros, 2015). 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 Premesozoicas, 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 Alarcon, y otros, 2012).

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)

### **2.2.13 Principales usos**

Los usos de la dolomita dependen principalmente de sus propiedades físicas y químicas. De acuerdo a 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, dónde 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).

En la industria siderúrgica para elaboración de aceros. Se puede utilizar también como lubricante en el proceso de trefilado (fabricación de alambres), este mismo concepto es aplicado para los moldes de fundición ya que estos la utilizan para evitar la adherencia del metal fundido al molde, especialmente en el lingoteado, adicionalmente se la utiliza como neutralizador de los ácidos usados en el proceso de limpieza del acero. (Desarrollo Minero, 2013).

En la Industria minera, se usa para tratamiento de efluentes minero con alto contenido de metales pesados.

#### **2.2.14 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. (Aramis Rivera, 2003). 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 Alarcon, y otros, 2012).

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, dependen 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 Alarcon, y otros, 2012).

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 Alarcon, y otros, 2012).

## **2.2.15 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 este presente, continental (superficial y subterráneo), marino o costero, durante un tiempo indefinido o definido y en un área específica. (IDEAM, 2004)

### **2.2.15.1 Actividades de Monitoreo<sup>1</sup>**

#### **2.2.15.1.1 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.

Es necesario contar con un mapa de la cuenca o laguna donde se ha establecido previamente los puntos de monitoreo considerados. De ser posible, las coordenadas de cada punto deben ser introducido en un GPS para facilitar su ubicación. En caso que los puntos de

---

<sup>1</sup> PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HIDRICOS

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.

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.

#### **2.2.15.1.2 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.

- ✓ Prepara 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 preservantes debe realizarse de preferencia en coolers para evitar su contaminación.
- ✓ Almacenar las muestras en el recipiente térmico (cooler) de forma vertical y considerando que los frascos de vidrio se encuentre 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.

### **2.2.15.1.3 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.

- ✓ La toma de muestra se realizará en el centro de la corriente a una profundidad de acuerdo al 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 Físico Químicos - 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 dejara 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.

En la toma de muestra para determinar Mercurio y Arsénico se empleará frascos de plásticos de boca ancha con cierre hermético, limpios y de 1 litro de capacidad.

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.

Las características de los recipientes, volumen requerido y tipo de preservante se contemplan en el Anexo N° 03 “Requisitos para toma de muestras de agua y preservación”.

## **Parámetros de campo**

Los parámetros a ser evaluados 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 a 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 pizeta. 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 optimo 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.

#### **2.2.15.1.4 Preservación de las muestras de agua:**

Una vez tomada la muestra de agua, se procede a adicionarle el preservante requerido de acuerdo a lo estipulado en el Anexo N° 03 “Requisitos para toma de muestras de agua y preservación”. Una vez preservada la muestra, cerrar herméticamente el frasco y para mayor seguridad encintar la tapa para evitar cualquier derrame del líquido.

#### **2.2.15.1.5 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.
- 8.- Preservación realizada, tipo de preservante utilizado.
- 9.- Tipo de análisis requerido.
- 10.- Nombre del responsable del muestreo.

#### **2.2.15.1.6 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 Jefatural 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. Para más detalle de la norma se presenta en los Figura N° 04 estándares calidad ambiental para agua respectivamente.

**Figura N° 04: ECA Para Lagos y Lagunas Categoría 4**

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

### 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS:

- a. **Acidez:** 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.
- b. **Adsorción:** es un concepto que se utiliza en el terreno de la física con referencia al proceso y el resultado de adsorber. Este verbo alude a la atracción y retención que realiza un cuerpo en su superficie de iones, átomos o moléculas que pertenecen a un cuerpo diferente.
- c. **Agente.-** Cualquier entidad biológica, química o física que puede producir un efecto adverso.
- d. **AMD** (drenaje ácido de mina por su sigla en inglés) es un proceso que pasa cuando las rocas con minerales sulfurosos, como pirita, calcopirita, pirrotita, marcasita, galena, arsenopirita, etc. Son expuestas a la acción del aire y del agua, comienza en sus superficies un complejo proceso que engloba en su desarrollo fenómenos químicos, físicos y biológicos.
- e. **Degradación biológica:** es un proceso cuyo desarrollo implica la pérdida de recursos naturales. La contaminación generada por el ser humano, la sobreexplotación y el cambio climático son algunos de los motivos que pueden producir la degradación ambiental.

- f. **Dolomita:** es un mineral común que también es conocida como  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  y es un tipo de piedra caliza compacta que está formada por carbonato doble de calcio y magnesio.
- g. **Dosis suministrada.-** Cantidad o concentración del agente químico que está presente en la superficie de contacto durante un período especificado y que se expresa por unidad de masa corporal del individuo expuesto.
- h. **Escorrentía superficial:** Es la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo.
- i. **Estación de muestreo.-** es un lugar específico cerca de o en un cuerpo receptor agua, en la cual se recoge la muestra. Su ubicación es fundamental para el éxito del programa de muestreo.
- j. **Impacto:** efecto que genera la actividad humana sobre el medio ambiente.
- k. **Infiltración:** Es la acción de introducir o infiltrar una sustancia líquida en el suelo, en los tejidos del cuerpo humano o en un objeto sólido.
- l. **Intercambio iónico:** es un proceso de tratamiento de agua utilizado generalmente para el ablandamiento o desmineralización

del agua, aunque también es utilizado para remover otras sustancias del agua en procesos tales como la desalcalinización, desionización, y desinfección.

**m. Lixiviación:** aquel fenómeno de desplazamiento de sustancias solubles o dispersables tales como el hierro, la arcilla, las sales, el humus, que es ocasionado por el movimiento del agua en el suelo, por lo que se da mucho en climas húmedos.

**n. Metales tóxicos:** 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.

**o. Mineral:** Compuesto inorgánico que sucede naturalmente en la corteza de la tierra con un conjunto distintivo de propiedades físicas y una composición química definida.

**p. Minería:** es una actividad económica del sector primario representada por la explotación o extracción de los minerales que se han acumulado en el suelo y subsuelo en forma de yacimientos, También la minería es considerada como el conjunto de individuos que se dedican a esta actividad o el conjunto de minas de una nación o región.

- q. Monitorear:** Controlar el desarrollo de una acción o un suceso a través de uno o varios monitores.
- r. Monitoreo:** El término monitoreo podría definirse como la acción y efecto de monitorear. Pero otra posible acepción se utilizaría para describir a un proceso mediante el cual se reúne, observa, estudia y emplea información para luego poder realizar un seguimiento de un programa o hecho particular.
- s. Neutralización:** Reacción química entre un ácido y una base tal que se obtiene  $\text{pH}=7$ . En esencia se trata la combinación del ión  $\text{H}_3\text{O}^+$  con el ión  $\text{OH}^-$  para dar agua. La reacción de neutralización es una de las más importantes del análisis volumétrico.
- t. Nocivos:** Sustancias y preparaciones que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, pueden implicar riesgos a la salud de forma temporal o alérgica. Por ejemplo: Etanal, Dicloro-metano, Cloruro de potasio, etc. Precaución: debe ser evitado el contacto con el cuerpo humano, así como la inhalación de los vapores.
- u. Oxidación:** es el proceso y el resultado de oxidar. Este verbo refiere a generar óxido a partir de una reacción química. El óxido, por otra parte, es lo que se produce cuando el oxígeno se combina un metal o con los elementos conocidos como metaloides.
- v. pH:** Se trata de una unidad de medida de alcalinidad o acidez de una solución, más específicamente el pH mide la cantidad de iones

de hidrógeno que contiene una solución determinada, el significado de sus siglas son, potencial de hidrogeniones, el pH se ha convertido en una forma práctica de manejar cifras de alcalinidad, en lugar de otros métodos un poco más complicados.

**w. Remoción:** es justamente quitar o sacar algo de su lugar, independientemente de que sea reemplazado o no por otro.

**x. Restauración:** El acto de reparar el daño a un lugar causado por la actividad humana, la industria o los desastres naturales. La restauración ambiental ideal es la recuperación del lugar lo más parecido posible a su condición natural antes de ser perturbada.

## **2.4 HIPÓTESIS**

### **2.4.1 Hipótesis General**

La aplicación de la Dolomita como agente remediante remueve eficientemente los metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate a escala experimental.

### **2.4.2 Hipótesis Específicos**

2.4.2.1 Los valores de pH obtenidos se encuentran dentro del rango establecido por el ECA-Categoría 4, aplicando la dolomita como agente remediante en las aguas ácidas de la laguna Yanamate.

2.4.2.2 Pb, Fe, Cu y Zn son los metales pesados que se remueven en las aguas ácidas de la laguna Yanamate aplicando la dolomita.

2.4.2.3 Se logra remover en más del 80% de concentraciones de los metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate mediante la aplicación de la Dolomita.

## **2.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES**

Las variables e indicadores del proyecto, se detallan a continuación.

### **2.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE**

Aplicación de la dolomita como agente remediante a escala experimental

### **2.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE**

Remoción de metales totales presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate

### **2.5.3 VARIABLES INTERVINIENTES**

- Temperatura
- pH
- Conductividad Eléctrica
- % de remoción
- Tiempo de contacto
- Velocidad de agitación

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación es de tipo experimental ya que tiene el propósito evaluar o examinar los efectos que se manifiestan en la variable dependiente cuando se manipula la variable independiente, es decir, se trata de probar una relación causal.

#### **3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

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.

Esquema científico:

$$Y = f X$$

**Donde:**

**Y: Variable Dependiente** (Remoción de metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate)

**X: Variable Independiente** (Aplicación de la dolomita como agente remediante a escala experimental)

**f: Función**

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1 Población**

La población en estudio son las aguas ácidas de la laguna Yanamate.

#### **3.3.2 Muestra**

La muestra está representada por dos puntos de monitoreo en la laguna Yanamate. En este trabajo se tomaron 2 muestras

puntuales para realizar una evaluación usando una muestra de solución ácida de aproximadamente 15 litros.

**Ubicación de los puntos de monitoreo de aguas ácidas en la  
Laguna Yanamate**

Los puntos de monitoreo con fines de realizar las pruebas de ensayo a nivel de laboratorio, los puntos que se tomaron las muestras en la laguna Yanamate, geográficamente se ubican tal como se detalla en la Tabla N° 04, y su ubicación de dichos puntos en el mapa (Anexo N° 01) y así mismo en las imágenes N° 2 al 3 de la presente investigación.

**Tabla N° 04: UBICACIÓN GEOGRÁFICAS DE LOS PUNTOS DE  
MONITOREO**

Código	Descripción	Coordenadas UTM	Altura (msnm)	Zona
P-1	Agua Superficial de Lago	E 363360 N 8814682	4329	18L
P-2	Agua Superficial de Lago	E 363290 N 8814704	4329	18L

*Fuente: Elaboración Propia*

### **3.4 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

A efectos de abordar todos los factores que intervienen en el problema planteado, se empleó métodos: Inductivo-deductivo, análisis, síntesis y el estadístico.

### **3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.5.1 TÉCNICAS:**

**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. Los parámetros analizados anteriormente sirven también para realizar cálculos analíticos y determinar los porcentajes de remoción de

metales pesados mediante la aplicación de la dolomita. De esta manera, se puede determinar la eficiencia de remoción mediante este sistema de tratamiento propuesto.

- ✓ Posterior a esto, se tomaron 2 muestras puntuales de solución ácida de aproximadamente 15 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 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 se calculara 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 n°2. De esta manera, se puede determinar la eficiencia de remoción mediante este sistema de tratamiento propuesto con la Dolomita.

$$PR = \frac{AMD\ inicial - AMD\ tratado}{AMD\ inicial} * 100 \dots\dots\dots(2)$$

**Donde:**

**PR:** Porcentaje de remoción (%)

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

**AMD tratado:** Concentración final del AMD tratado con Dolomita. (mg/L)

(Perry & Green, 1992)

### 3.5.2 INSTRUMENTOS

A continuación, se mencionarán los materiales, equipos de laboratorio, equipos de protección personal y material de gabinete que se emplearon en el desarrollo de las pruebas experimentales del tratamiento de neutralización.

**Materiales:**

- 15 litros de agua ácida de la laguna Yanamate
- Dolomita 25 Kg
- Matraz de Erlenmeyer
- Vasos de Precipitación
- Agua destilada
- 1 espátula de mango madera
- 2 baldes de 20 litros de capacidad

**Equipos de laboratorio**

- 1 balanza analítica
- 1 agitador magnetico
- Equipo multiparámetro portátil

**Equipos de protección personal**

- 2 guardapolvos de laboratorio
- 1 caja de guantes quirúrgicos
- Mascarillas quirúrgicas (Protección para la boca)

**Material de gabinete**

- 1 cronómetro
- 1 cámara fotográfica
- 1 laptop
- 1 GPS

### 3.6 ÁREA DE ESTUDIO

La laguna Yanamate está situada en las estribaciones occidentales de la Cordillera Central en la sierra central del Perú, a 3.2 km al sur oeste de la Ciudad de Cerro de Pasco en el Distrito Tinyahuarco, Provincia y Región de Pasco, tal como se puede observar en las Figura N° 05 y imagen N° 01. Se ubica a una distancia aproximada de 130 Km al norte de La Oroya y a 310 Km de Lima, a una altitud de 4266 m.s.n.m.

El acceso desde la ciudad de Lima es a la altura del Km 296 de la Carretera Central en un desvío de aproximadamente 6 Km y desde la ciudad de Cerro de Pasco a 3 Km aproximadamente.

**Figura N° 05:** Ubicación de la Laguna Yanamate



**Fuente:** Elaboración Propia

**Imagen N° 01:** Ubicación de la Laguna Yanamate



### **Puntos De Monitoreo De Aguas Ácidas En La Laguna Yanamate**

En este trabajo se tomaron 2 muestras puntuales de las aguas ácidas de la Laguna Yanamate para realizar una evaluación. Geográficamente se ubican tal como se detalla en la Tabla N° 04 y así mismo en las imágenes N° 2 al 3 de la presente investigación se presenta la toma de la ubicación geográfica con el uso del GPS. En los mencionados puntos de monitoreo se evaluaron la calidad de estas aguas antes de realizar las pruebas con la aplicación de la dolomita.

**Imagen N° 02: P-1: Agua Superficial de Lago**



**Imagen N° 03: P-2: Agua Superficial de Lago**



### **3.7 MUESTREO DE LAS AGUAS ÁCIDAS EN LA LAGUNA YANAMATE**

Para el monitoreo de las aguas ácidas en la laguna Yanamate se cumplió estrictamente con el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los recursos Hídricos tal como se detalla en el ítem 2.2.15 de la presente investigación.

En campo, en los puntos de monitoreo ya identificados se monitoreo los parámetros físicos y asimismo se tomó como muestra de las aguas ácidas 15 litros por cada punto de monitoreo, para más detalle de estas actividades realizadas se puede observar en las imágenes N° 04 al 06, posteriormente se trasladó estas muestras para nuestros ensayos con la aplicación de la dolomita a nivel de laboratorio, tal como se puede observar en las imagen N° 07.

**Imagen N° 04: Monitoreo de Parámetros Físicos**



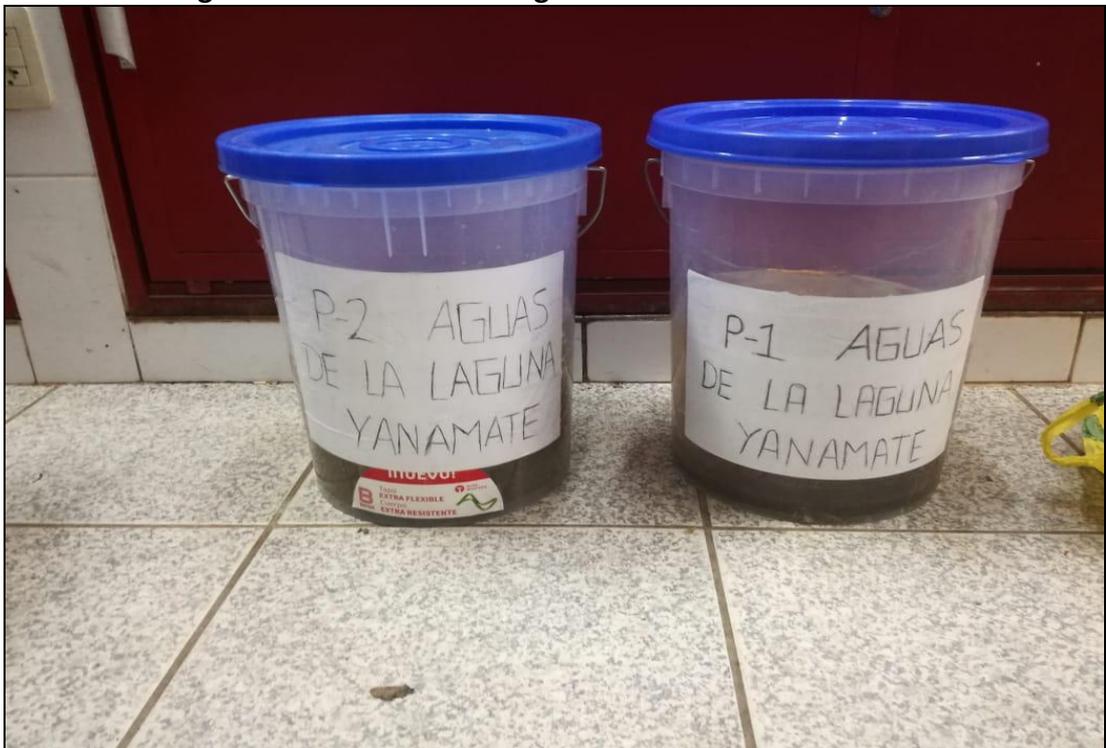
**Imagen N° 05: Toma de Muestra de Aguas Ácidas (P-1)**



Imagen N° 06: Toma de Muestra de Aguas Ácidas (P-2)



Imagen N° 07: Muestras de Aguas Trasladas al Laboratorio



### **3.8 PRUEBAS EXPERIMENTALES A NIVEL DE LABORATORIO DE LAS AGUAS ÁCIDAS EN LA LAGUNA YANAMATE CON LA APLICACIÓN DE LA DOLOMITA**

Para determinar la dosis óptima de dolomita a usar en estas pruebas experimentales, se utilizó el experimento Batch, las mismas que se detalla en el Anexo N° 07.

#### **Antes de las Pruebas Experimentales**

Para tener la información inicial de la calidad de agua de la Laguna Yanamate, se realizó las mediciones de pH y Conductividad Eléctrica, asimismo se tiene resultados de laboratorio de la presencia de metales totales sin antes haber realizado las pruebas de ensayo del laboratorio con la aplicación de la dolomita, lo resultados se muestran en el Capítulo de Resultados.

#### **Durante de las Pruebas Experimentales**

1. Para iniciar nuestro proceso experimental se preparó los materiales como son: Reactor preparado para esta investigación (Para tener una buena combinación) tal como se puede observar en la imagen N° 08, compra de dolomita, agua ácida de la laguna Yanamate, multiparametro, balanza analítica y matraz.

**Imagen N° 08: Reactor – Preparado por la Investigadora**



2. Se trabajó con 500 ml de aguas ácidas, este volumen será lo mismo para diversas dosis de dolomita, para más detalle se observa en la imagen N° 09.

**Imagen N° 09: Muestra de 500 ml de agua ácida**

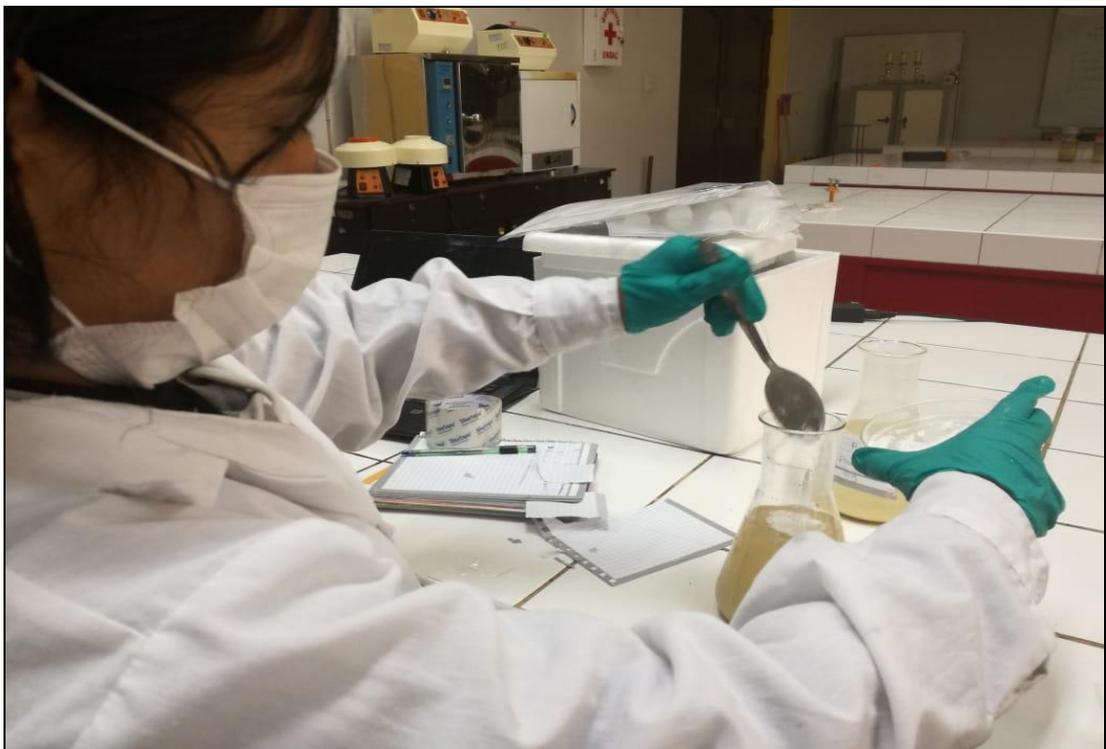


3. Se realizó pruebas con 10 y 25 g de dolomita para 500 ml de aguas ácidas, para este proceso se realizó el pesado de la dolomita granulada y se adicione a las muestras de los puntos de monitoreo P-1 (para un matraz con 10 g de dolomita y otro matraz para 25 g de dolomita) y P-2 (para un matraz con 10 g de dolomita y otro matraz para 25 g de dolomita), a posterior se utilizó el reactor para disolver la dolomita y el agua ácida durante 30 minutos, tal como se puede observar en las imágenes N° 10, 11 y 12.

**Imagen N° 10: Pesado de Dolomita 10 g y 25 g**



**Imagen N° 11: Adición de la Dolomita de 10 g y 25 g**



**Imagen N° 12: Disolviendo las dosis con el Reactor**



4. Finalizado el proceso de disolver las muestras con la dolomita se dejó reposando para la precipitación de los sólidos durante 6 horas, para posterior realizar la medición de los parámetros físicos como el pH final y Conductividad tal como se puede observar en la imagen N° 13.

**Imagen N° 13: Muestra Precipitada de Solidos y Medición de pH y Conductividad**



5. Posterior a las muestras ya precipitadas se preparó en envases para ser enviado para su análisis de metales totales en el laboratorio acreditado por INACAL (SGS), tal como se puede observar en las imágenes N° 14, 15 y 16.

Imagen N° 14: Muestras Después del Ensayo Preservadas para su Análisis



Imagen N° 15: Acondicionado de Muestras



**Imagen N° 16: Envío de Muestras Para su Análisis al Laboratorio SGS**



A continuación, presentamos los resultados obtenidos de las actividades realizadas para la presente investigación:

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

Finalizada el proceso de análisis el 06 de marzo del 2019 por el laboratorio SGS acreditado por INACAL nos reportó resultados de los parámetros químicos (metales totales), los mismos que se muestran en las tablas del N° 05, 06, 07 y 08.

Asimismo, adjuntamos los resultados de análisis químico de las aguas de la laguna Yanamate en el Anexo N° 05 para tener en claro la concentración inicial de los metales. Estos análisis fueron llevados a cabo en el laboratorio Servicios Analíticos Generales SAG y asimismo

se adjunta el informe de ensayo del laboratorio SGS de las muestras después del tratamiento en el Anexo N° 06.

#### 4.1.1 Resultados de los Parámetros Físicos

Los resultados de los parámetros físicos tomados lo presentamos a continuación en la Tabla N° 05 y 06 de la presente investigación.

**Tabla N° 05. Resultados de los Parámetros Físicos con 10 g de Dolomita**

N° de Estación de Monitoreo	Descripción de la Estación de Monitoreo	Potencial de Hidrogeno (pH) INICIAL	Conductividad Eléctrica (CE) INICIAL	Potencial de Hidrogeno (pH) FINAL	Conductividad Eléctrica (CE) FINAL
P-1	Agua Superficial de Lago	1.91	2584	6.56	4200
P-2	Agua Superficial de Lago	1.96	2876	6.88	4300

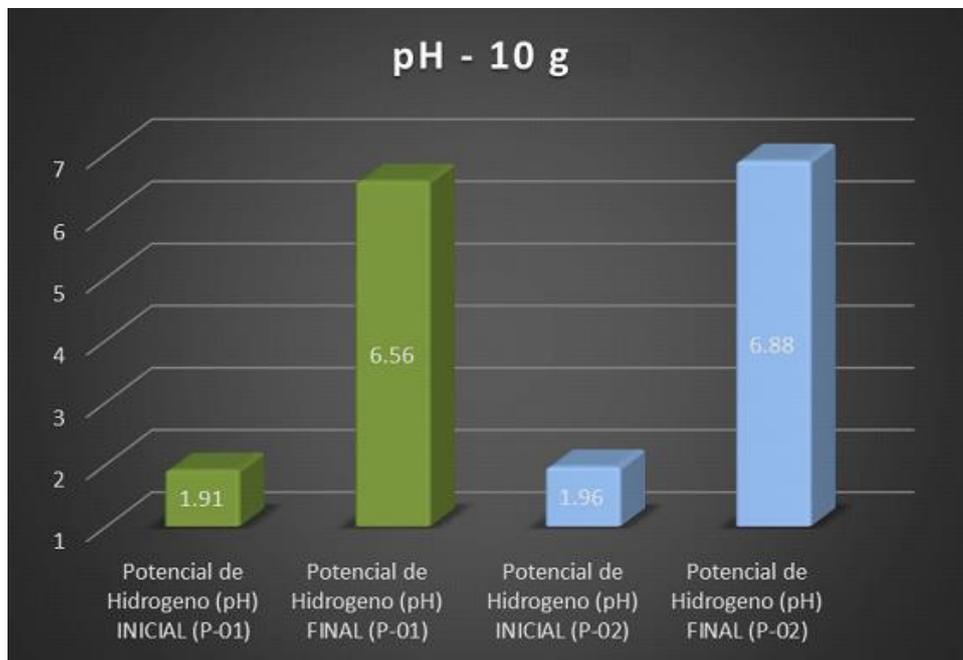
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 06. Resultados de los Parámetros Físicos con 25 g de Dolomita**

N° de Estación de Monitoreo	Descripción de la Estación de Monitoreo	Potencial de Hidrogeno (pH) INICIAL	Conductividad Eléctrica (CE) INICIAL	Potencial de Hidrogeno (pH) FINAL	Conductividad Eléctrica (CE) FINAL
P-1	Agua Superficial de Lago	1.91	2584	7.19	4100
P-2	Agua Superficial de Lago	1.96	2876	7.35	4050

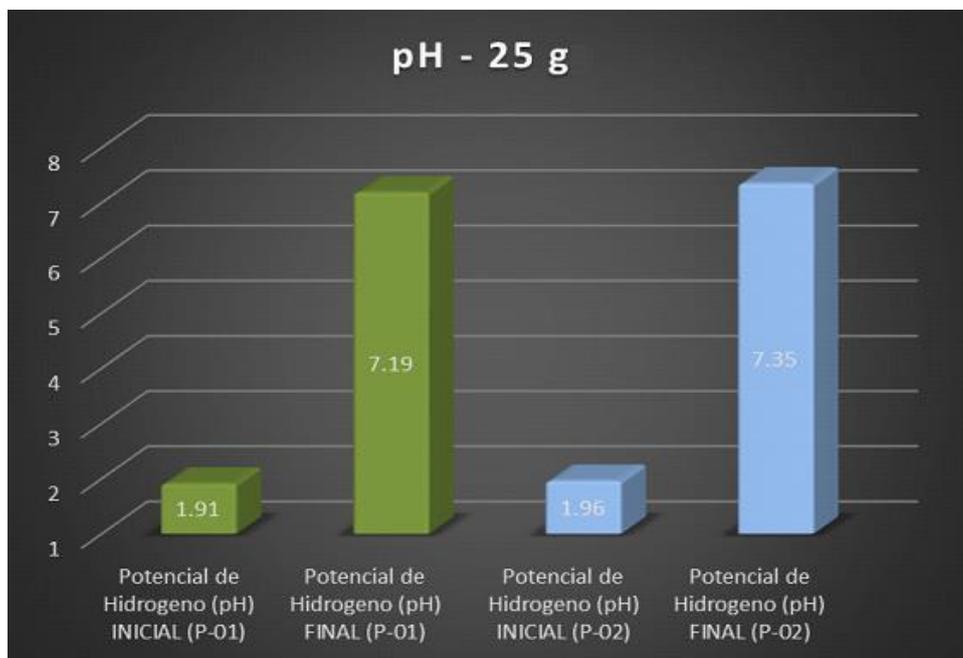
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 01: Resultado del Parámetro pH con Dosificación de 10 g de Dolomita



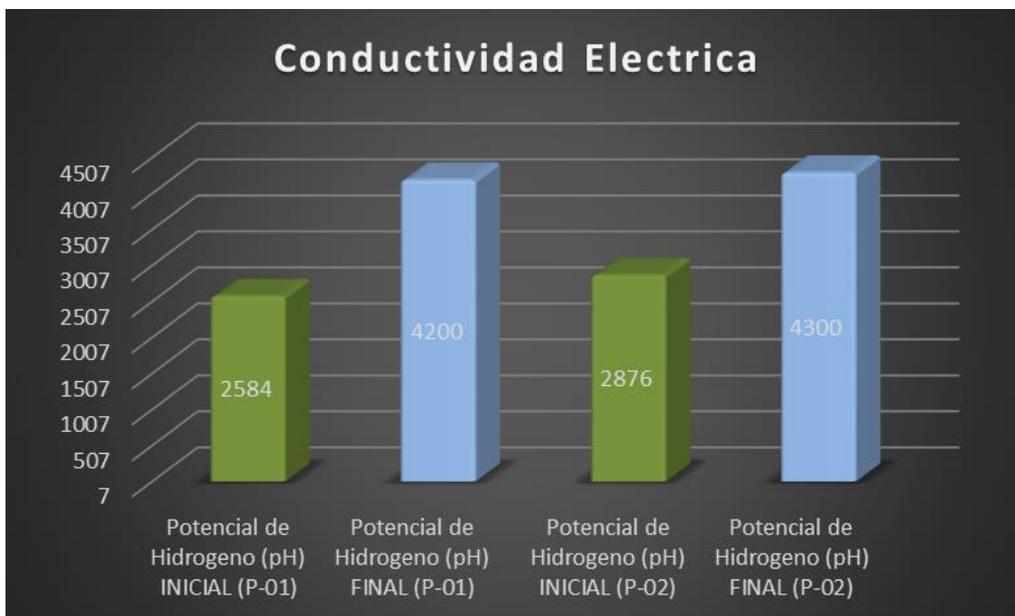
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 02: Resultado del Parámetro pH con Dosificación de 25 g de Dolomita



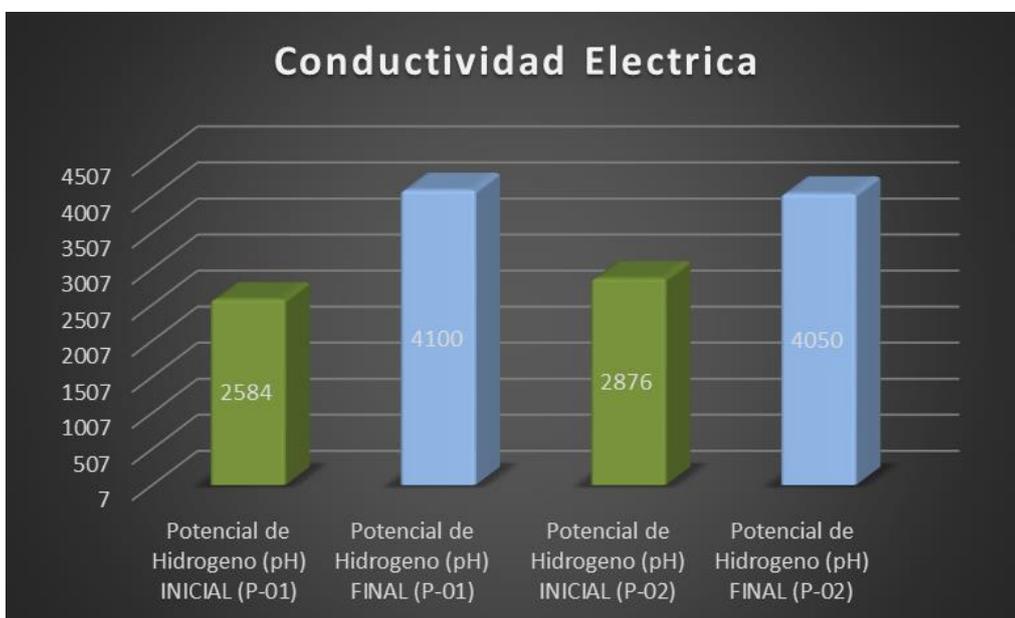
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 03: Resultado del Parámetro Conductividad Eléctrica con Dosificación de 10 g de Dolomita



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 04: Resultado del Parámetro Conductividad Eléctrica con Dosificación de 25 g de Dolomita



Fuente: Elaboración Propia

## **Análisis de los Resultados de los Parámetros Físicos**

La Laguna Yanamate está considerado dentro de los Estándares de Calidad Ambiental como Categoría 4 para (Lagos y Lagunas). Para observar los resultados físicos se puede observar en la Tabla N° 5 y 6, Gráficos del 1 al 4.

- Para el caso del **Potencia de Hidrogeno (pH)** el estándar considerado es de 6.5 – 9.0 por lo que vemos en los dos puntos de monitoreo del P-1 (Agua Superficial de Lago) y P-2 (Agua Superficial de Lago) no cumple con las ECA para categoría 4, ya que en el punto P-1 el pH es 1.91 y en el punto P-2 el pH es de 1.96, lo cual está fuera del estándar permitido, afectando al agua, esta acidez permite que se active la presencia de metales totales en las aguas de la laguna Yanamate.

Con la aplicación de la dolomita con dos proporciones distintas, que son 10 y 25 g en 500 ml de agua ácida, posterior a esta aplicación de estas dosis de dolomita, los resultados reportaron la mejoría con 10 g de dolomita, en el P-1 mejoro hasta llegar a pH 6.56 y en el caso P-2 también mejoro llegando a un pH de 6.88. Por otro lado con la dosificación de 25 g de dolomita en el P-1 mejoro hasta llegar a pH 7.19 y en el caso P-2 también mejoro llegando a un pH de 7.35.

- Para el caso de la **Conductividad Eléctrica** está considerado dentro de los Estándares de Calidad Ambiental como Categoría 4, el estándar permitido es de 1000 uS/cm, en los resultados obtenidos tenemos en los dos puntos de monitoreo del P-1 (Agua Superficial de Lago) y P-2 (Agua Superficial de Lago), en el punto P-1 la CE es de 2584 uS/cm y en el punto P-2 el pH es de 2876 uS/cm, superando el estándar permitido, estos resultados representa la presencia alta de metales totales en las aguas de la laguna Yanamate.

Con la aplicación de la dolomita con dos proporciones distintas, los resultados reportaron la subida de la CE con 10 g de dolomita, en el P-1 subió la CE hasta llegar a 4200 uS/cm y en el caso P-2 también subió la CE hasta llegar a 4300 uS/cm. Por otro lado con la dosificación de 25 g de dolomita en el P-1 subió la CE hasta llegar a 4100 uS/cm y en el caso P-2 también subió la CE hasta llegar a 4050 uS/cm, esta subida de la Conductividad Eléctrica se debe al adicionar dolomita que es un compuesto alcalino, al adicionar a una solución ácida, hace que los metales se activen y esto a su vez representa la alta conductividad en el agua.

## 4.1.2 Resultados de los Parámetros Químicos del Agua de la Laguna Yanamate

Los resultados reportados por el laboratorio Servicios Analíticos Generales SAC y SGS, lo presentamos a continuación en la Tabla N° 07 y 08:

### 4.1.2.1 Parámetro – Metales Totales

**Tabla N° 07. Resultados de los Parámetros Químicos con 10 g de Dolomita**

	"ECA 4" Permitido	Agua Superficial de Lago INICIAL (P-01)	Agua Superficial de Lago FINAL (P-01)	Agua Superficial de Lago INICIAL (P-02)	Agua Superficial de Lago FINAL (P-02)
Litio (Li)	—	0.04739	0.0656	0.02419	0.0575
Berilio(Be)	—	0.0011	0.00006	0.00064	0.00006
Boro (B)	—	0.0398	0.1100	0.0317	0.09
Sodio (Na)	—	4.221	26.737	1.939	20.927
Magnesio (Mg)	—	40.323	59.524	13.619	56.565
Aluminio (Al)	—	20.782	0.046	7.075	0.034
Silicio (Si)	—	4.093	4.56	8.782	4.53
Silice (SiO2)	—	8.76	9.76	18.793	9.7
Fósforo (P)	0,035	0.43	0.113	2.755	0.047
Potasio (K)	—	7.897	32.92	2.183	132.55
Calcio (Ca)	—	400	1,252.28	400	1,190.13
Titanio (Ti)	—	0.00726	0.0043	0.13382	0.0023
Vanadio(V)	—	0.01048	0.0003	0.02842	0.0003
Cromo (Cr)	0,011	0.018	0.0003	0.017	0.0003
Cobre (Cu)	0.1	5.0457	0.18321	2.818	0.08031
Manganeso (Mn)	—	16.806668	11.62663	0.848471	11.80741
Hierro (Fe)	—	200	8.49	200	1.7075
Cobalto (Co)	—	0.013361	0.00885	0.001575	0.00896
Níquel (Ni)	0.052	5.0457	0.0196	2.8818	0.0204
Zinc (Zn)	0,12	20	17.7032	20	16.403
Galio (Ga)	—	0.0529	0.00069	0.03566	0.00078
Germanio (Ge)	—	0.00296	0.0006	0.00411	0.0006
Arsénico (As)	0,15	1.77175	0.0089	10.0	0.012320
Selenio(Se)	0,005	0.0013	0.003	0.007	0.0028
Rubidio (Rb)	—	0.02298	0.019	0.00646	0.0184
Estroncio (Sr)	—	0.9578	1.2871	1.94643	1.3113
Zincorio (Zr)	—	0.001	0.00046	0.00664	0.00045
Niobio (Nb)	—	0.00002	0.0015	0.00019	0.0015
Molibdeno (Mo)	—	0.0009	0.00064	0.0036	0.00107
Plata (Ag)	—	0.00235	0.009727	0.0116	0.00001
Cadmio (Cd)	0,00025	0.07877	0.02988	0.10786	0.02705
Estaño (Sn)	—	0.0019	0.0001	0.0079	0.0001
Antimonio (Sb)	0,64	0.0651	0.00013	0.4459	0.00013
Cesio (Ce)	—	0.01042	0.0073	0.00734	0.0081
Bario(Ba)	0,7	0.01042	0.0191	0.00734	0.0152
Lantano (La)	—	0.00095	0.0015	0.001826	0.0015
Cerío (Ce)	—	0.003575	0.00024	0.004887	0.00024
Lutecio (Lu)	—	0.000016	0.00006	0.000004	0.00006
Tantalio (Ta)	—	0.00005	0.0021	0.00005	0.0021
Wolframio(W)	—	0.00171	0.0006	0.00764	0.0006
Mercurio (Hg)	0,0001	0.00002	0.00009	0.00142	0.00009
Talio (Tl)	—	0.02353	0.01542	0.03593	0.01474
Plomo (Pb)	0,15	0.01564	0.0006	0.6537	0.0027
Bismuto (Bi)	—	0.029515	0.00003	0.421898	0.00056
Torio (Th)	0,7	0.000052	0.00019	0.001016	0.00019
Uranio (U)	—	0.005387	0.000778	0.007402	0.001141

Fuente: Servicios Analíticos Generales SAC y SGS

**Tabla N° 08 Resultados de los Parámetros Químicos con 25 g de Dolomita**

	"ECA 4" Permitido	Agua Superficial de Lago INICIAL (P-01)	Agua Superficial de Lago FINAL (P-01)	Agua Superficial de Lago INICIAL (P-02)	Agua Superficial de Lago FINAL (P-02)
Litio (Li)	—	0.04739	0.0558	0.02419	0.053
Berilio(Be)	—	0.0011	0.00006	0.00064	0.00006
Boro (B)	—	0.0398	0.1590	0.0317	0.148
Sodio (Na)	—	4.221	31.718	1.939	30.66
Magnesio (Mg)	—	40.323	82.41	13.619	69.012
Aluminio (Al)	—	20.782	0.072	7.075	0.065
Silicio (Si)	—	4.093	5.19	8.782	4.95
Silice (SiO2)	—	8.76	11.09	18.793	10.58
Fósforo (P)	0,035	0.43	0.05	2.755	0.047
Potasio (K)	—	7.897	11.27	2.183	14.97
Calcio (Ca)	—	400	1,265.24	400	1,266.17
Titanio (Ti)	—	0.00726	0.0026	0.13382	0.0033
Vanadio(V)	—	0.01048	0.0003	0.02842	0.0003
Cromo (Cr)	0,011	0.018	0.0003	0.017	0.0003
Cobre (Cu)	0.1	5.0457	0.03452	2.818	0.02479
Manganeso (Mn)	—	16.806668	10.32186	0.848471	10.4917
Hierro (Fe)	—	200	0.3002	200	0.2449
Cobalto (Co)	—	0.013361	0.00837	0.001575	0.00732
Niquel (Ni)	0.052	5.0457	0.0163	2.8818	0.0152
Zinc (Zn)	0,12	20	8.1359	20	6.7898
Galio (Ga)	—	0.0529	0.00093	0.03566	0.00096
Germanio (Ge)	—	0.00296	0.0006	0.00411	0.0006
Arsénico (As)	0,15	1.77175	0.0123	10.0	0.015150
Selenio(Se)	0,005	0.0013	0.0013	0.007	0.0013
Rubidio (Rb)	—	0.02298	0.019	0.00646	0.0166
Estronio (Sr)	—	0.9578	1.2939	1.94643	1.275
Zincorio (Zr)	—	0.001	0.00045	0.00664	0.00045
Niobio (Nb)	—	0.00002	0.0015	0.00019	0.0015
Molibdeno (Mo)	—	0.0009	0.00102	0.0036	0.00074
Plata (Ag)	—	0.00235	0.000623	0.0116	0.00001
Cadmio (Cd)	0,00025	0.07877	0.00421	0.10786	0.00275
Estaño (Sn)	—	0.0019	0.0001	0.0079	0.0001
Antimonio (Sb)	0,64	0.0651	0.0019	0.4459	0.00146
Cesio (Ce)	—	0.01042	0.0023	0.00734	0.0019
Bario(Ba)	0,7	0.01042	0.0131	0.00734	0.0104
Lantano (La)	—	0.00095	0.0015	0.001826	0.0015
Cerio (Ce)	—	0.003575	0.00024	0.004887	0.00024
Lutecio (Lu)	—	0.000016	0.00006	0.000004	0.00006
Tantalio (Ta)	—	0.00005	0.0021	0.00005	0.0021
Wolframio(W)	—	0.00171	0.0006	0.00764	0.0006
Mercurio (Hg)	0,0001	0.00002	0.00009	0.00142	0.00009
Talio (Tl)	—	0.02353	0.00957	0.03593	0.0077
Plomo (Pb)	0,15	0.01564	0.0006	0.6537	0.0021
Bismuto (Bi)	—	0.029515	0.00003	0.421898	0.00034
Torio (Th)	0,7	0.000052	0.00019	0.001016	0.00019
Uranio (U)	—	0.005387	0.00309	0.007402	0.002543

Fuente: Servicios Analíticos Generales SAG y SGS

#### 4.1.2.2 Porcentaje de Remoción de Metales con Aplicación de Dolomita con 10 g y con 25 g de Dolomita

Para comparar la eficiencia de remoción del sistema de tratamiento activo se utilizaron los resultados obtenidos del muestreo del AMD inicial y AMD tratado mediante la ecuación n° 2.

$$PR = \frac{AMD\ inicial - AMD\ tratado}{AMD\ inicial} * 100 \dots\dots\dots(2)$$

**Donde:**

**PR:** Porcentaje de remoción (%)

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

**AMD tratado:** Concentración final del AMD tratado (mg/L)(Perry & Green, 1992)

La eficiencia de remoción de metales con la aplicación de la dolomita se calculó usando la ecuación 2, la cual nos permite determinar el porcentaje de retención para cada metal analizado, usando la concentración inicial de metales que se determinó en las aguas ácidas de la laguna Yanamate antes de su tratamiento y la concentración final de metales previo al tratamiento.

Aplicando la ecuación se tiene en la Tabla N° 09 y 10 el porcentaje de remoción de los metales.

**Tabla N° 09: Porcentaje de Remoción de Metales con Aplicación de Dolomita con 10 g para los puntos de Monitoreo P-1 y P-2**

METALES PESADOS	% Remoción con 10 g de Dolomita (P-1)	%Remoción con 10 g de Dolomita (P-2)
Litio (Li)	-38.43	-137.70
Berilio(Be)	94.55	90.63
Boro (B)	-176.38	-183.91
Sodio (Na)	-533.43	-979.27
Magnesio (Mg)	-47.62	-315.34
Aluminio (Al)	99.78	99.52
Silicio (Si)	-11.41	48.42
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	-11.42	48.39
Fósforo (P)	73.72	98.29
Potasio (K)	-316.87	-5971.92
Calcio (Ca)	-213.07	-197.53
Titanio (Ti)	40.77	98.28
Vanadio(V)	97.14	98.94
Cromo (Cr)	98.33	98.24
Cobre (Cu)	96.37	97.15
Manganeso (Mn)	30.82	-1291.61
Hierro (Fe)	95.76	99.15
Cobalto (Co)	33.76	-468.89
Níquel (Ni)	99.61	99.29
Zinc (Zn)	11.48	17.99
Galio (Ga)	98.70	97.81
Germanio (Ge)	79.73	85.40
Arsénico (As)	99.50	99.88
Selenio(Se)	-130.77	60.00
Rubidio (Rb)	17.32	-184.83
Estroncio (Sr)	-34.38	32.63
Zincorio (Zr)	54.00	93.22
Niobio (Nb)	-7400.00	-689.47
Molibdeno (Mo)	28.89	70.28
Plata (Ag)	-313.91	99.91
Cadmio (Cd)	62.07	74.92
Estaño (Sn)	94.74	98.73
Antimonio (Sb)	99.80	99.97
Cesio (Ce)	29.94	-10.35
Bario(Ba)	-83.30	-107.08
Lantano (La)	-57.89	17.85
Cerio (Ce)	93.29	95.09
Lutecio (Lu)	-275.00	-1400.00
Tantalio (Ta)	-4100.00	-4100.00
Wolframio(W)	64.91	92.15
Mercurio (Hg)	-350.00	93.66
Talio (Tl)	34.47	58.98
Plomo (Pb)	96.16	99.59
Bismuto (Bi)	99.90	99.87
Torio (Th)	-265.38	81.30
Uranio (U)	85.56	84.59

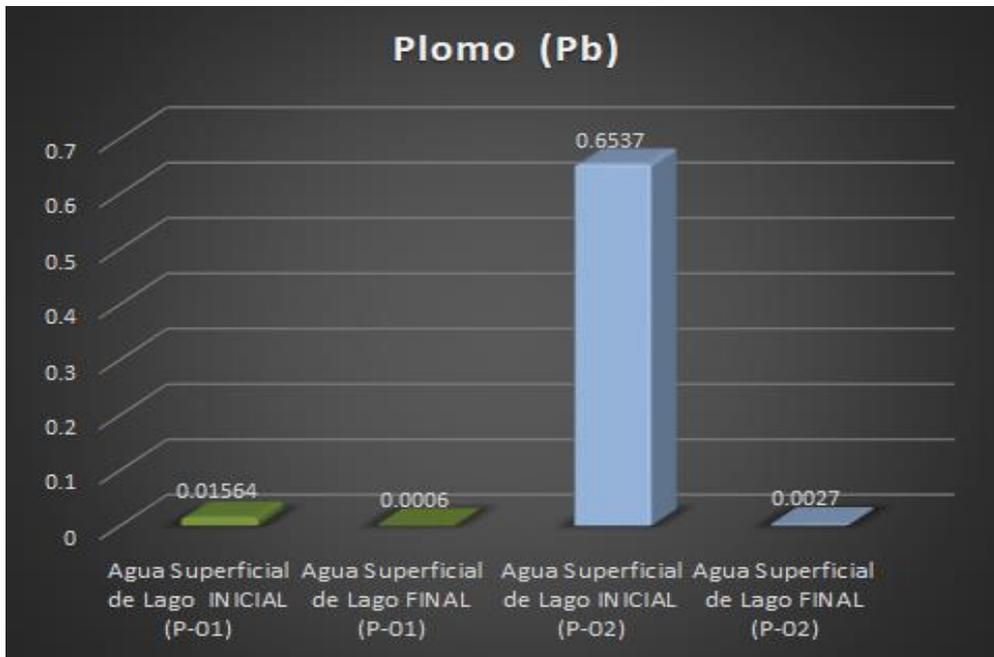
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 10: Porcentaje de Remoción de Metales con Aplicación de Dolomita con 25 g para los puntos de Monitoreo P-1 y P-2**

METALES PESADOS	% Remoción con 25 g de Dolomita (P-1)	%Remoción con 25 g de Dolomita (P-2)
Litio (Li)	-17.75	-119.10
Berilio(Be)	94.55	90.63
Boro (B)	-299.50	-366.88
Sodio (Na)	-651.43	-1481.23
Magnesio (Mg)	-104.37	-406.73
Aluminio (Al)	99.65	99.08
Silicio (Si)	-26.80	43.63
Silice (SiO2)	-26.60	43.70
Fósforo (P)	88.37	98.29
Potasio (K)	-42.71	-585.75
Calcio (Ca)	-216.31	-216.54
Titanio (Ti)	64.19	97.53
Vanadio(V)	97.14	98.94
Cromo (Cr)	98.33	98.24
Cobre (Cu)	99.32	99.12
Manganeso (Mn)	38.58	-1136.54
Hierro (Fe)	99.85	99.88
Cobalto (Co)	37.35	-364.76
Niquel (Ni)	99.68	99.47
Zinc (Zn)	59.32	66.05
Galio (Ga)	98.24	97.31
Germanio (Ge)	79.73	85.40
Arsénico (As)	99.30	99.85
Selenio(Se)	0.00	81.43
Rubidio (Rb)	17.32	-156.97
Estroncio (Sr)	-35.09	34.50
Zincorio (Zr)	55.00	93.22
Niobio (Nb)	-7400.00	-689.47
Molibdeno (Mo)	-13.33	79.44
Plata (Ag)	73.49	99.91
Cadmio (Cd)	94.66	97.45
Estaño (Sn)	94.74	98.73
Antimonio (Sb)	97.08	99.67
Cesio (Ce)	77.93	74.11
Bario(Ba)	-25.72	-41.69
Lantano (La)	-57.89	17.85
Cerio (Ce)	93.29	95.09
Lutecio (Lu)	-275.00	-1400.00
Tantalio (Ta)	-4100.00	-4100.00
Wolframio(W)	64.91	92.15
Mercurio (Hg)	-350.00	93.66
Talio (Tl)	59.33	78.57
Plomo (Pb)	96.16	99.68
Bismuto (Bi)	99.90	99.92
Torio (Th)	-265.38	81.30
Uranio (U)	42.64	65.64

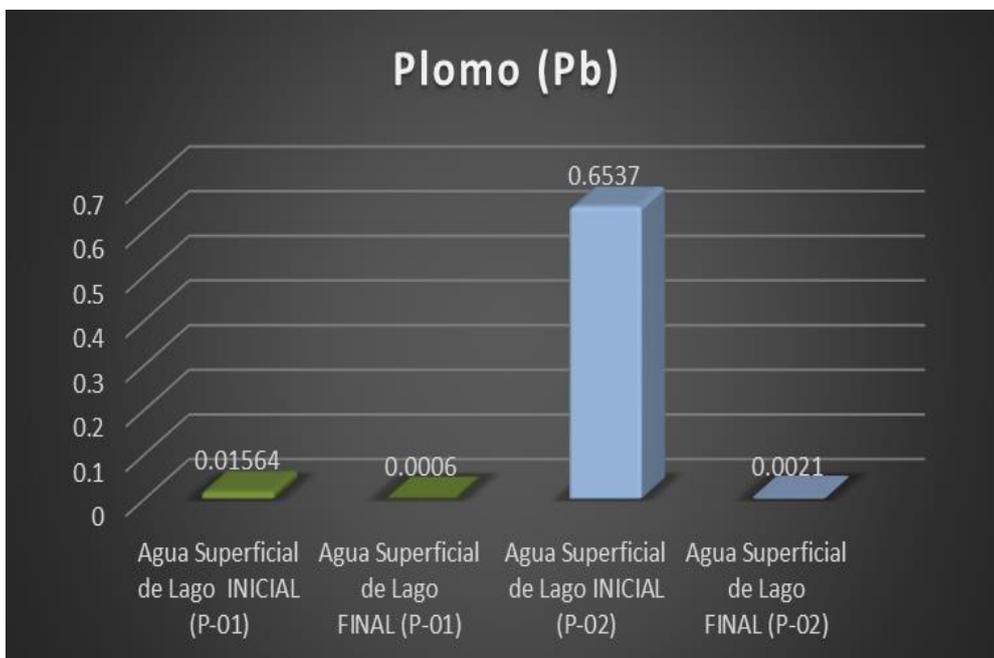
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N° 05: Resultado de Plomo con Dosificación de 10 g de Dolomita**



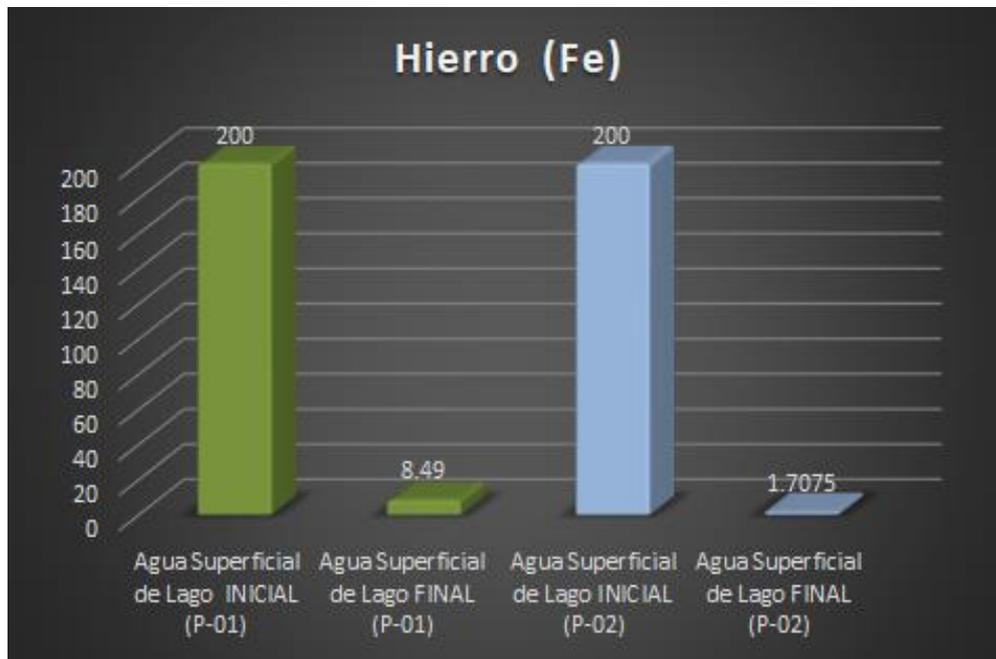
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N° 06: Resultado de Plomo con Dosificación de 25 g de Dolomita**



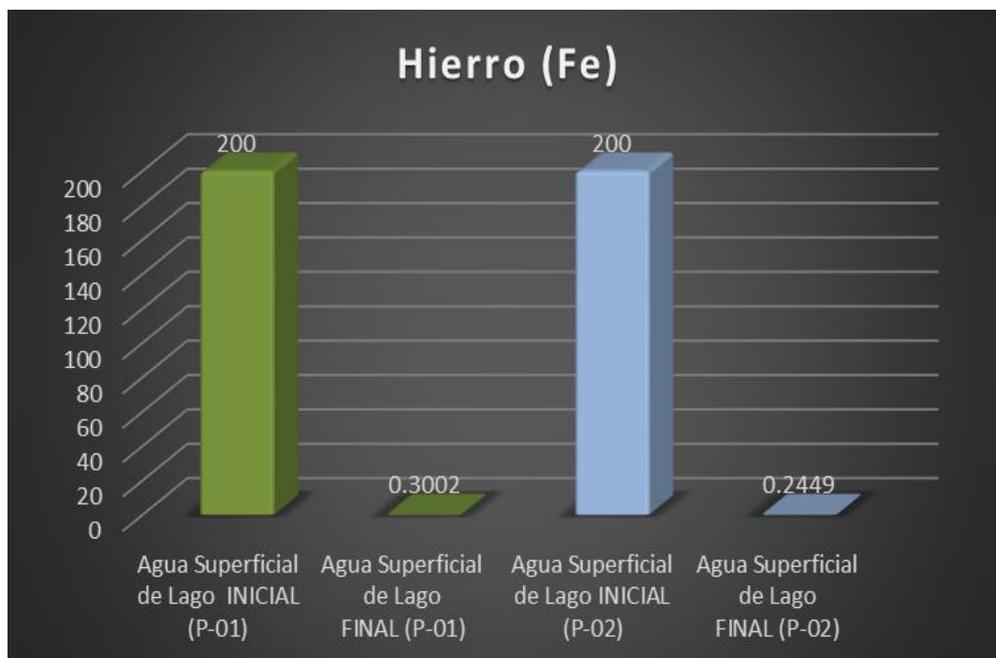
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N° 07: Resultado de Hierro con Dosificación de 10 g de Dolomita**



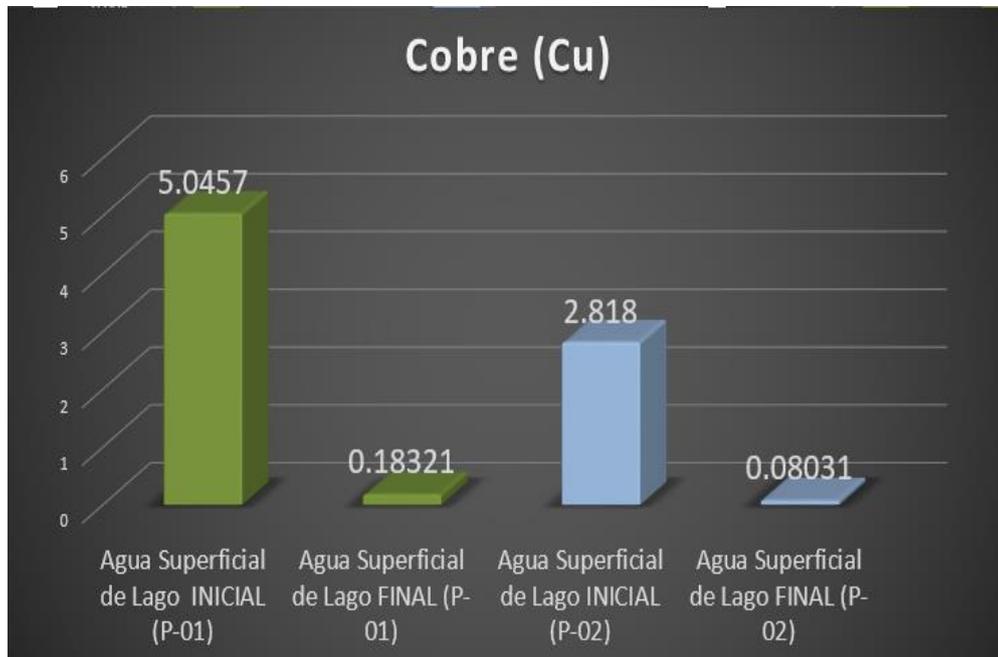
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N° 08: Resultado de Hierro con Dosificación de 25 g de Dolomita**



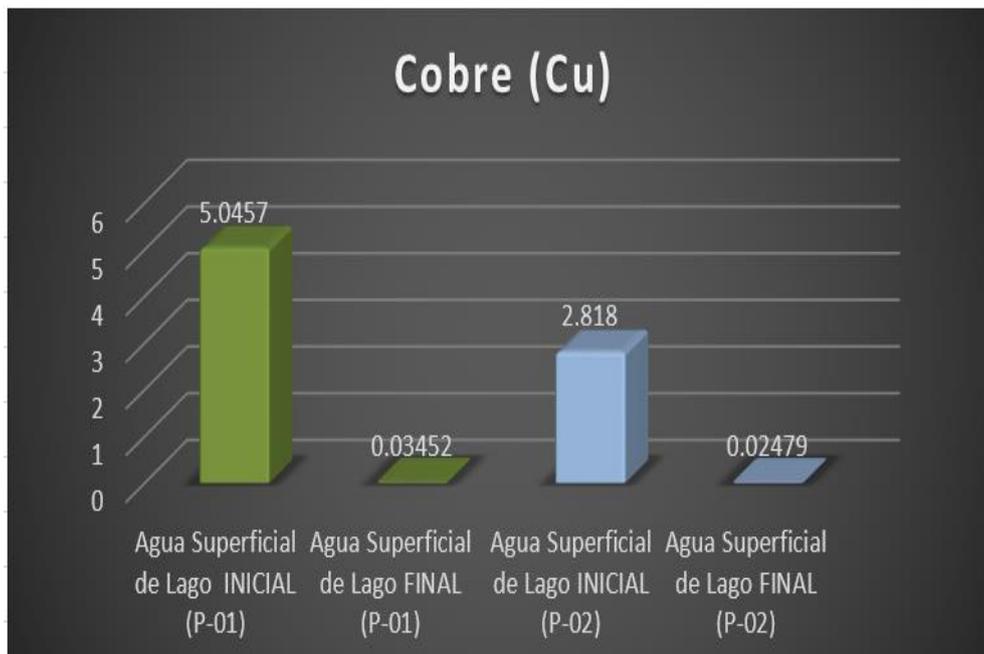
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N° 09: Resultado de Cobre con Dosificación de 10 g de Dolomita**



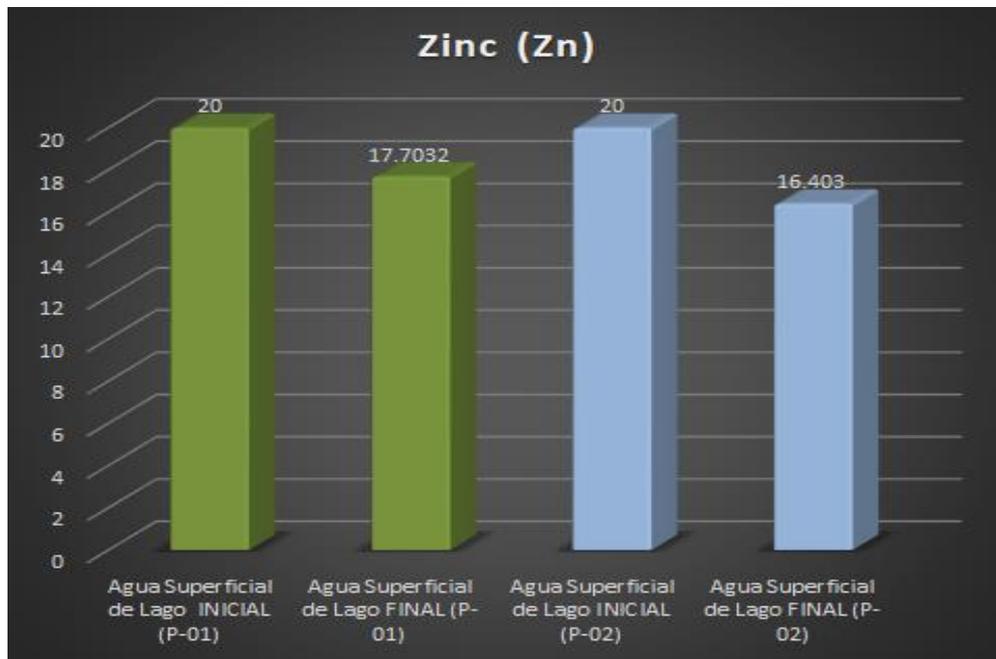
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N° 10: Resultado de Cobre con Dosificación de 25 g de Dolomita**



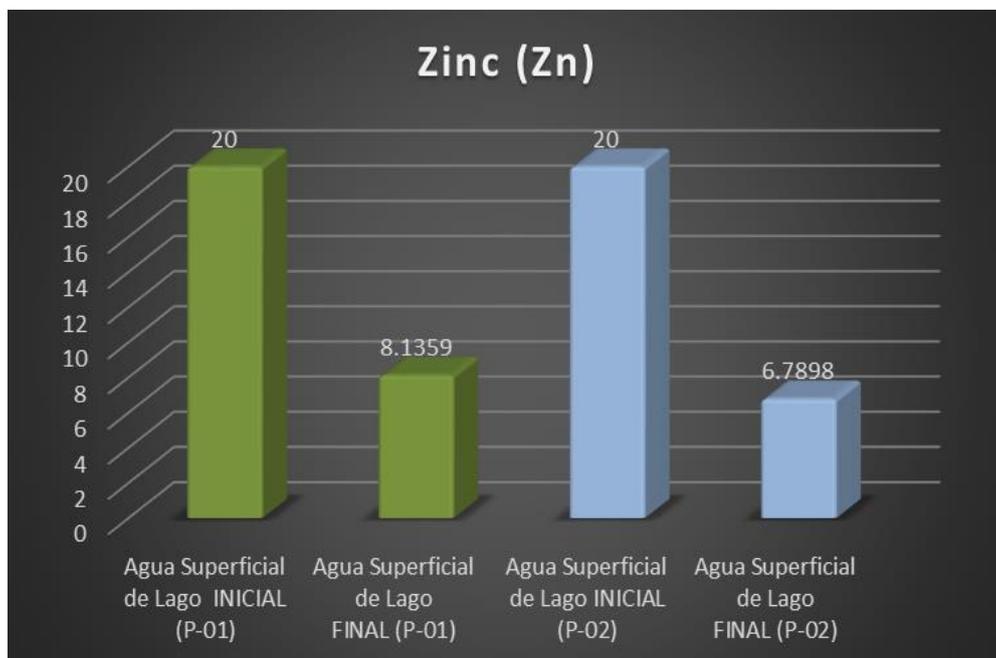
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N° 11: Resultado de Zinc con Dosificación de 10 g de Dolomita**



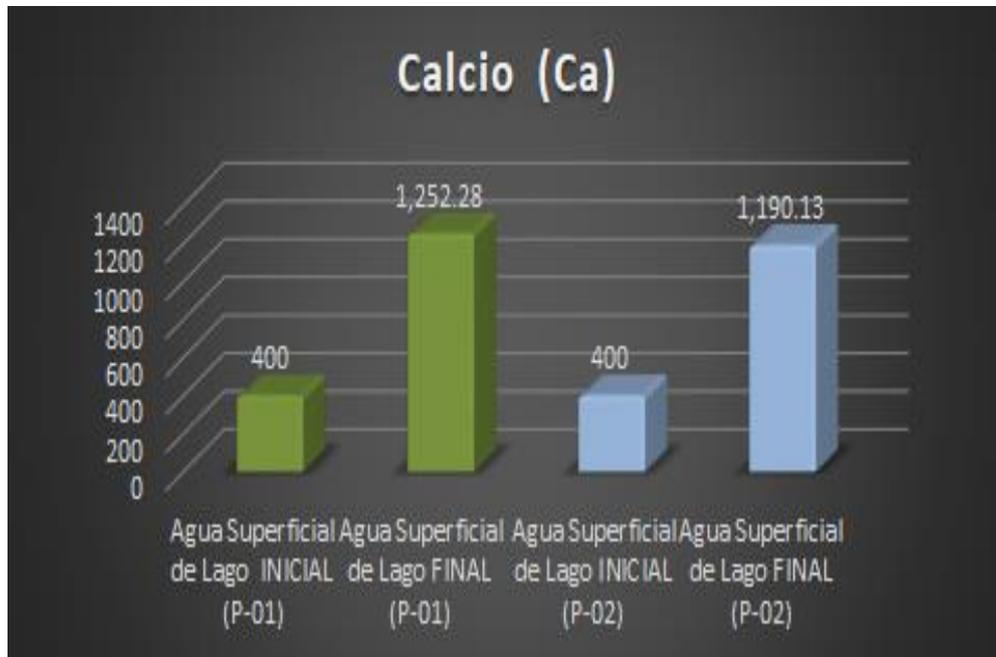
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N° 12: Resultado de Zinc con Dosificación de 25 g de Dolomita**



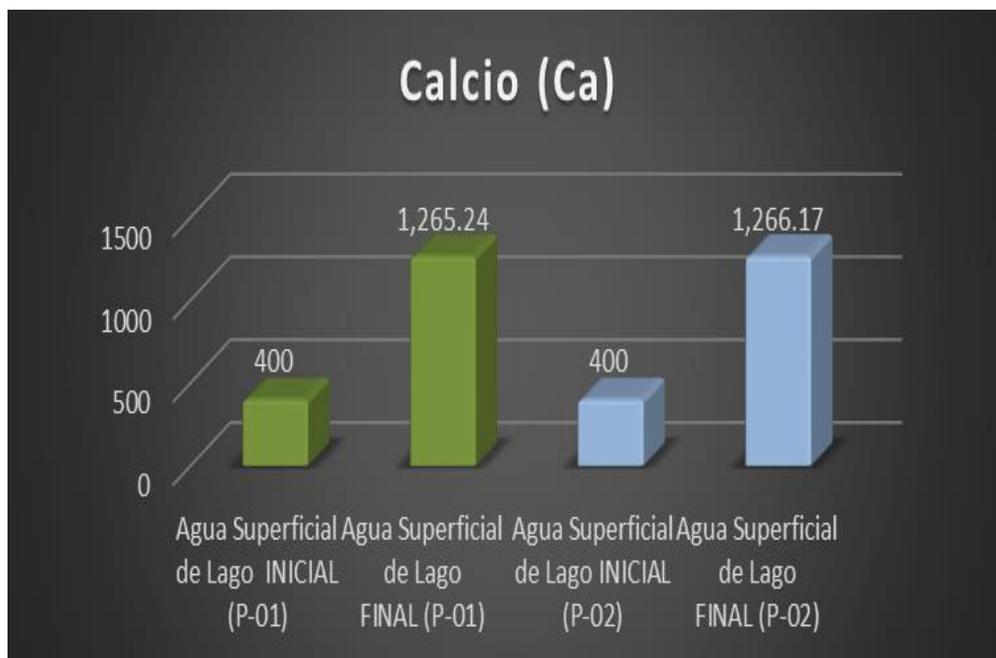
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N° 13: Resultado de Calcio con Dosificación de 10 g de Dolomita**



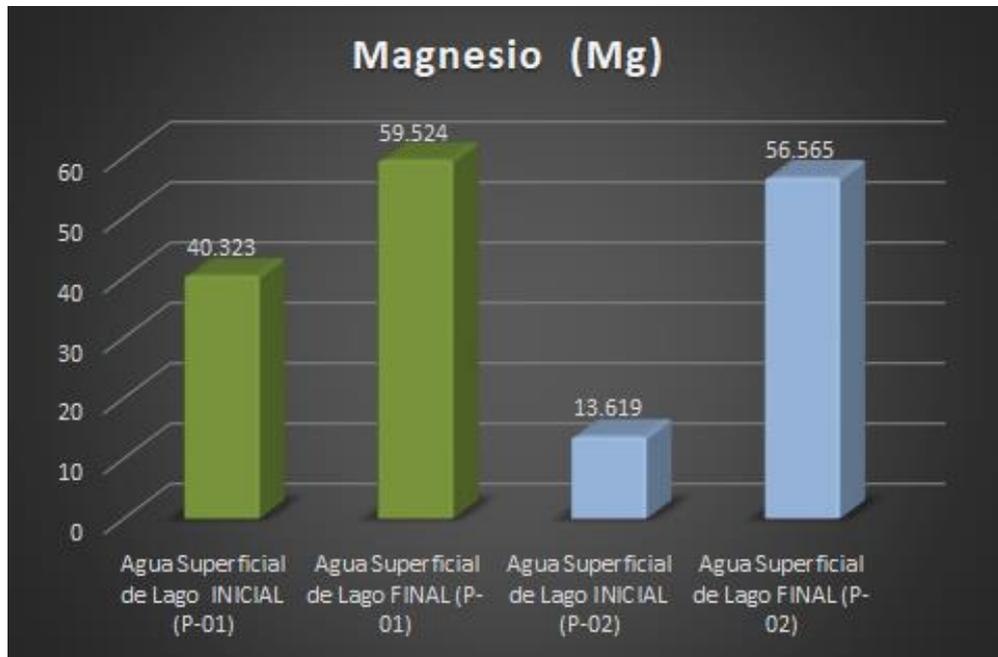
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N° 14: Resultado de Calcio con Dosificación de 25 g de Dolomita**



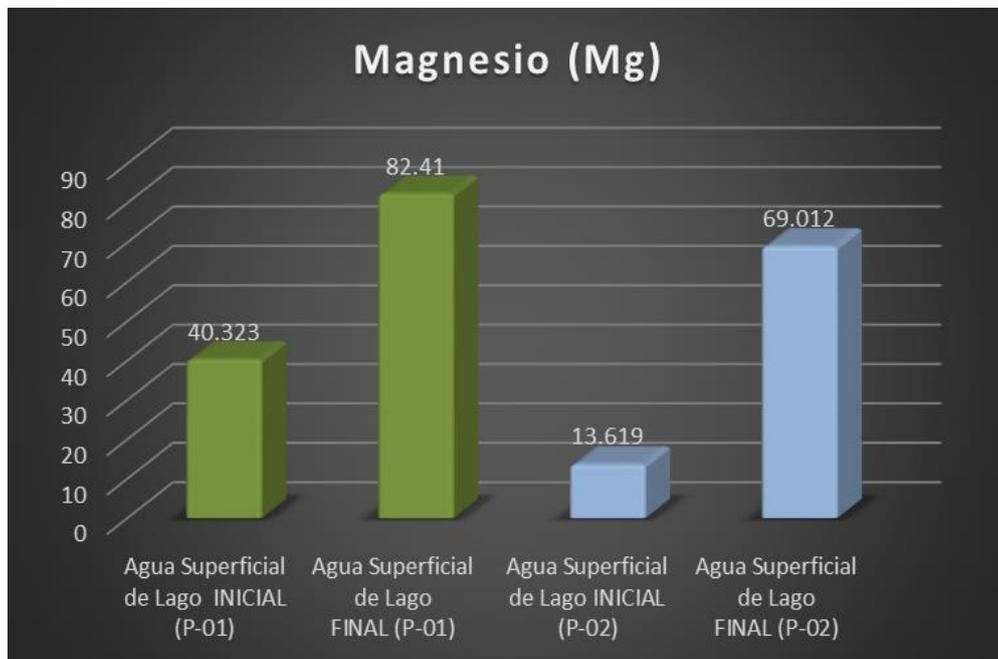
Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N° 15: Resultado de Magnesio con Dosificación de 10 g de Dolomita**



Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N° 16: Resultado de Magnesio con Dosificación de 25 g de Dolomita**



Fuente: Elaboración Propia

## Interpretación del Parámetro Metales Totales

La Laguna Yanamate está considerado dentro de los Estándares de Calidad Ambiental como Categoría 4 para (Lagos y Lagunas). Los resultados presentamos en la Tabla N° 07 y 08 de la presente investigación.

- Para el caso de Metales Totales el estándar considerado es diferentes concentración de acuerdo al tipo de metales, por lo que vemos en los dos puntos de monitoreo P-1 Agua Superficial de Lago, P-2 Agua Superficial de Lago, no cumple con las ECA para categoría 4 en los metales totales representativos, como es el caso del **plomo** según el ECA el permitido es 0,015 mg/lit , por lo que puede observar en las tabla N° 7 y 8, gráfico N° 5 y 6, el plomo en el P-1 se encuentra en 0.1564 mg/lit y en el P-2 se encuentra en 0.6537 mg/lit, lo cual ligeramente pasa del estándar permitido. Por ser las aguas ácidas provenientes de la piritita que es un Sulfuro de hierro ( $Fe_2S_3$ ), para el caso del **Hierro** no especifica lo permitido en el ECA, por lo que puede observar en la tabla N° 7 y 8, gráficos N° 7 y 8, el Hierro en el P-1 se encuentra en 200 mg/lit y en el P-2 se encuentra en 200 mg/lit, lo cual es significativamente su presencia. Para el caso del **Cobre** según el ECA el permitido es 0,10 mg/lit, por lo que puede observar en la tabla N° 7 y 8, gráfico N° 9 y 10, el Cobre en el P-1 se encuentra

en 5.0457 mg/lit y en el P-2 se encuentra en 2.8818 mg/lit, lo cual pasa significativamente del estándar permitido. Para el caso del **Zinc** según el ECA el permitido es 0,12 mg/lit, por lo que puede observar en el tabla N° 5 y gráficos N° 11 y 12, el Zinc en el P-1 se encuentra en 20 mg/lit y en el P-2 se encuentra en 20 mg/lit, lo cual pasa significativamente del estándar permitido. Para el caso del **Calcio** según el ECA no determina lo permitido, por lo que puede observar en el tabla N° 7 y 8, gráficos N° 13 y 14, el Calcio en el P-1 se encuentra en 400 mg/lit y en el P-2 se encuentra en 400 mg/lit. Y para el caso del **Magnesio** según el ECA no determina lo permitido, por lo que puede observar en el tabla N° 7 y 8, gráficos N° 15 y 16, el Calcio en el P-1 se encuentra en 40.323 mg/lit y en el P-2 se encuentra en 13.619 mg/lit.

- Con la aplicación de la dolomita con dos proporciones distintas de 10 y 25 g, los resultados reportaron el descenso de los metales cumpliendo los Estándares de Calidad Ambiental como Categoría 4 para (Lagos y Lagunas).
  - Con la aplicación de 10 g de dolomita, en el P-1 descendió el Plomo a 0.0006 mg/lit y revisando la tabla N° 9 el porcentaje de remoción de metales para el plomo fue de 96.16% y en el

P-2 descendió el Plomo a 0.0027mg/lit el porcentaje de remoción de metales para el plomo fue de 99.59%.

- Con la aplicación de 10 g de dolomita, en el P-1 descendió el Hierro a 8.49 mg/lit y revisando la tabla N° 9 el porcentaje de remoción de metales para el Hierro fue de 95.76% y en el P-2 el Hierro descendió 1.7075 mg/lit el porcentaje de remoción de metales para el Hierro fue de 99.15%.
- Con la aplicación de 10 g de dolomita, en el P-1 descendió el Cobre a 0.18321 mg/lit y revisando la tabla N° 9 el porcentaje de remoción de metales para el Cobre fue de 96.37% y en el P-2 el Cobre descendió a 0.08031 mg/lit, el porcentaje de remoción de metales para el Cobre fue de 97.15%.
- Con la aplicación de 10 g de dolomita, en el P-1 descendió el Zinc a 17.7032 mg/lit y revisando la tabla N° 9 el porcentaje de remoción de metales para el Zinc fue de 11.48% y en el P-2 el Zinc descendió 16.403 mg/lit el porcentaje de remoción de metales para el Zinc fue de 17.99%.

Ahora veremos cuál fue el porcentaje de remoción con la aplicación de 25 g de dolomita.

- Con la aplicación de 25 g de dolomita, en el P-1 descendió el Plomo a 0.0006 mg/lit y revisando la tabla N° 10 el porcentaje de remoción de metales para el plomo fue de 96.16% y en el P-2 descendió el Plomo a 0.0021mg/lit el porcentaje de remoción de metales para el plomo fue de 99.68%.
  
- Con la aplicación de 25 g de dolomita, en el P-1 descendió el Hierro a 0.3002 mg/lit y revisando la tabla N° 10 el porcentaje de remoción de metales para el Hierro fue de 99.85% y en el P-2 el Hierro descendió 0.2449 mg/lit el porcentaje de remoción de metales para el Hierro fue de 99.88%.
  
- Con la aplicación de 25 g de dolomita, en el P-1 descendió el Cobre a 0.03452 mg/lit y revisando la tabla N° 10 el porcentaje de remoción de metales para el Cobre fue de 99.32% y en el P-2 el Cobre descendió a 0.02479 mg/lit el porcentaje de remoción de metales para el Cobre fue de 99.12%.
  
- Con la aplicación de 25 g de dolomita, en el P-1 descendió el Zinc a 8.1359 mg/lit y revisando la tabla N° 10 el porcentaje de remoción de metales para el Zinc fue de 59.32% en el P-

2 el Zinc descendió 6.7898 mg/lit el porcentaje de remoción de metales para el Zinc fue de 66.05%

Concerniente al calcio y magnesio se ha incrementado los valores, esto es debido a las propiedades químicas que la dolomita tiene (se puede afirmar que la dolomita es un mineral no metálico de carbonato doble de Calcio y Magnesio ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )).

#### **4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Finalizada la investigación denominada "**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**" teniendo resultados podemos interpretar mencionando los siguientes:

- La laguna Yanamate en el distrito de Tinyahuarco ha sido usada como depósitos de aguas ácidas de mina desde el año 1981 por la Empresa Minera del Centro del Perú (Centromín). Hoy en día, la laguna Yanamate es un pasivo ambiental abandonada tal como pudimos constatar en campo.

- El pH y la presencia de metales totales producto del análisis por el laboratorio acreditado nos determinó que se encuentra por debajo de 2 el potencial de hidrogeno y los metales totales supera los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para categoría 4, producto a nuestra propuesta aplicando la dolomita, damos una alternativa para tratar las aguas de esta laguna Yanamate y asimismo a otros lugares que pose aguas ácidas como fuente de contaminación de las aguas.
- La Dolomita, también conocida como caliza de magnesio, es un carbonato doble de calcio y magnesio, su fórmula química es  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . La dolomita presenta la mayor capacidad de neutralización de los minerales comunes. Ciertos metales pesados como Pb, He, Cu y Zn 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.
- Al aplicar la dolomita en nuestro trabajo experimental con pruebas de 10 y 25 g de dolomita para 500 ml de aguas ácidas, pudimos tener buenos resultados, donde el pH que estuvo por debajo de 2, con la aplicación de 10 g de dolomita, el pH se mejoró hasta llegar en el punto de monitoreo P-1 a 6.56 y en el

caso P-2 también mejoro llegando a un pH de 6.88. Por otro lado, con la dosificación de 25 g de dolomita en el P-1 mejoro hasta llegar a pH 7.19 y en el caso P-2 también mejoro llegando a un pH de 7.35. Por lo tanto, con la dosis de 25 g de dolomita es adecuado para 500 ml de aguas ácidas por debajo de pH de 2.

- Con respecto a los metales totales antes de la aplicación de la dolomita superaba en gran parte el ECA-Categoría 4, posterior de la aplicación de la dolomita en el P-1 con 10 g descendió el plomo, Hierro, Cobre, Zinc, en 0.0006 mg/lit, 8.49 mg/lit, 0.18321 mg/lit, 17.7032 mg/lit respectivamente, para el caso del P-2 descendió el plomo, Hierro, Cobre, Zinc en 0.0027 mg/lit, 1.7075 mg/lit, 0.08031 mg/lit, 16.403 mg/lit, respectivamente. Ahora con 25 g de dolomita, en el P-1 descendió mucho más el contenido de plomo, Hierro, Cobre, Zinc, bajo a 0.0006 mg/lit, 0.3002 mg/lit, 0.03452 mg/lit, 8.1359 mg/lit, respectivamente, para el caso del P-2 descendió el plomo, Hierro, Cobre, Zinc en 0.0021mg/lit, 0.2449 mg/lit, 0.02479 mg/lit, 6.7898 mg/lit, respectivamente. Por lo tanto, con la dosis de 25 g de dolomita es adecuado para 500 ml de aguas ácidas para cumplir los ECA -Categoría 4.

- Por otro lado, la remoción con 10 y 25 g de dolomita es eficiente ya que esto se puede corroborar en la tabla N° 9 y 10 de la presente investigación. Con la aplicación de 10 g de dolomita se logró reducir en P-1, 96.16% de plomo, 95.76% de Hierro, 96.37% de cobre y 11.48% de Zinc y en P-2 el porcentaje de remoción de metales fue 99.59% de plomo, 99.15% de Hierro, 97.15% de cobre y 17.99% de Zinc. Pero con 25 g de dolomita la remoción fue más alta y mejorando en el caso de Zinc. Se alcanzaron porcentajes de remoción de metales 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 de metales fue de 99.68% de plomo, 99.88% de hierro, 99.12% de Cobre y 66.05% de Zinc.

#### **4.3 PRUEBA DE HIPÓTESIS**

Para nuestra investigación se planteó la hipótesis general expresando fue lo siguiente:

**“La aplicación de la Dolomita como agente remediante remueve eficientemente los metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate a escala experimental”**

Cumplida nuestra investigación podemos mencionar que la hipótesis es válida o se acepta, ya que como se pudo determinar y demostrar en nuestra investigación, que con la aplicación de la dosis de 25 g de dolomita en 500 ml de aguas ácidas con pH menores a 2 estas llegan a elevarse obteniendo un pH superior a 7, así mismo los metales totales se precipitaron donde mejoró en su calidad con la presencia de menores concentraciones de metales totales presentes en el agua, por lo tanto los metales son removidos con alta eficacia.

## CONCLUSIONES

Concluyo la presente investigación mencionando los siguientes:

1. La laguna Yanamate ha sido usada como depósito de aguas ácidas de mina debido a las características estructurales de los suelos de rocas calizas ubicados en los lechos de la laguna, que inicialmente actuaban como un agente neutralizador. Pero el alto grado de acidez y los niveles de concentración de los metales pesados de las aguas ácidas, ha generado que las rocas calizas pierdan sus propiedades físicas y químicas, dejando de reaccionar. Como consecuencia, ha traído la pérdida de la calidad del agua de esta laguna. En la actualidad la laguna Yanamate es considerada un pasivo ambiental minero de la Compañía Minera Volcan S.A.A.
2. La Dolomita aplicado para nuestra investigación es un mineral común que también es conocida como  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  y es un tipo de roca caliza compacta que está formada por carbonato de calcio y magnesio.
3. El pH y la presencia de metales totales producto del análisis por el laboratorio acreditado por INACAL nos determinó que se encuentra por debajo de 2 el potencial de hidrogeno y los metales totales supera los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

4. Al aplicar la dolomita en nuestro trabajo experimental con pruebas de 10 y 25 g de dolomita para 500 ml de aguas ácidas, donde el pH inicial medido en P-1 era 1.91 y en P-2 era 1.96, con la aplicación de la dolomita mejoró hasta obtener valores dentro del rango establecido por el ECA-categoría 4. Con la aplicación de 10 g de dolomita, el pH se mejoró hasta llegar en el punto de monitoreo P-1 a 6.56 y en el caso P-2 logro llegar a un pH 6.88. Por otro lado, con la dosificación de 25 g de dolomita en el P-1 mejoro hasta llegar a un pH 7.19 y en el caso P-2 también mejoro llegando a un pH 7.35.
  
5. Con respecto a los metales totales antes de la aplicación de la dolomita superaba en gran parte el ECA-Categoría 4. Pero mediante el tratamiento se logra bajar casi todos los elementos presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate. Con 25 g de dolomita, en el P-1 descendió mucho más las concentraciones 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, con la dosis de 25 g de dolomita es adecuado para 500 ml de aguas ácidas para cumplir los ECAs - Categoría 4.

6. En cuanto a la remoción porcentual de concentraciones de metales, se ha demostrado ser eficiente consiguiendo reducir en más del 80% de concentraciones de metales pesados excepto en el caso del Zinc que obtuvo porcentajes menores de reducción. Con 10 g de dolomita se logró reducir en P-1, 96.16% de plomo, 95.76% de Hierro, 96.37% de cobre y 11.48% de Zinc y en P-2 el porcentaje de remoción de metales fue 99.59% de plomo, 99.15% de Hierro, 97.15% de cobre y 17.99% de Zinc. Pero con 25 g de dolomita la remoción fue más alta y mejorando en el caso de Zinc. Se alcanzaron porcentajes de remoción de metales 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 de metales fue de 99.68% de plomo, 99.88% de hierro, 99.12% de Cobre y 66.05% de Zinc.

## RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que propongo son las siguientes:

1. Considerando los resultados de los estudios previos y por su importancia que se está dando a la dolomita actualmente, se puede afirmar que la dolomita es un mineral no metálico de carbonato doble de Calcio y Magnesio ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$ ), que se puede utilizar como una alternativa eficiente para la remoción de metales pesados que presenta la laguna Yanamate por ser económicos y sus propiedades alcalinas para neutralizar la acidez que generan los metales pesados, además de reducir la concentración inicial de los mismos. Cabe mencionar que 1 TM de dolomita cuesta entre S/350.00 a S/400.00 en el mercado nacional.
2. Difundir la presente investigación para la aplicación de la dolomita a las instituciones privada y públicas que trabajan con aguas ácidas ya que es un mineral eficiente para el uso de tratamiento de aguas ácidas.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

**Acevedo Luyo, Karol. 2015.** Tratamiento de aguas ácidas de Mina con Alto contenido de Aluminio y Manganeso por Tecnología de Lodos de Alta Densidad (HDS). Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2015. Informe de Suficiencia para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico.

**Aduvire , O. 2006.** Drenaje Acido de Mina Generacion y Tratamiento. Madrid, España : Instituto Geológico y Minero de España , 2006.

**Alfredo Bruce Howard, Aparicio Rodríguez y Jesús Manuel, Prada Cabana. 2018** “Tratamiento Integral de Remediación de Efluentes de Aguas Provenientes de la Presa de Relaves De Cerro Verde a Través del Proceso de Precipitación de Iones Metálico con Dolomita como Agente Remediante”. Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa. Arequipa-Perú.

**Alfonso A. Romero; Silvana L. Flores y Walter Arévalo. 2010** “Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita”. Industrial Data, vol. 13, núm. 1, enero-julio, 2010, pp. 85-90. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima- 2010

**Agnieszka Gruszecka-Kosowska, y otros. 2017.** *Waste dolomite powder as an adsorbent of Cd, Pb(II), and Zn from aqueous solutions.* Cracovia, Polonia : Environ Earth Sci, 2017.

**Aramis Rivera, D. 2003.** Caracterizacion de Materiales de Origen Zeolitico con Potencial Aplicacion Farmaceutica. Ciudad de la Habana : Universidad de la Habana, 2003. Tesis en Opción al grado Científico de Doctor en Ciencias Farmaceuticas.

**Baylón Coritoma, M, y otros. 2018.** Lima : Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú., 2018. 1726-2216 .

**Bruce Howard , Alfredo, Aparicio, Rodríguez y Prada Cabana, Jesús. 2018.** Tratamiento Integral de Remediación de Efluentes de Aguas Provenientes de la Presa de Relaves de Cerro Verde a través del Proceso de Precipitación de Iones Metálicos con Dolomita Como Agente Remediante. Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018. Tesis Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico.

**Dammert, A. 1981.** Economía Minera. [ed.] CARLOS AUSEJO. Jesus Maria, Lima : LEY PRIMERA EDICION, 1981.

**Desarrollo Minero. 2013.** Perfil del Mercado de la Dolomita. México : Coordinación General de Minería, 2013.

**Espinosa, José y Molina, Eloy. 1999.** Acidez y Alcalinado de los Suelos. Primera Edición. Quito : International Plant Nutrition Institute, 1999.  
Evaluación de la diversidad de algas fitoplactónicas como indicadores de la calidad del agua en lagunas altoandinas del departamento de Pasco.

**Flores Chávez, Silvana L. 2009.** Tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos con énfasis en el abatimiento de cobre con dolomita. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima : s.n., 2009.  
Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Metalurgista .

**Golder Associates Perú S.A. 2000.** FASE 1: Plan de Manejo Ambiental de la Laguna Yanamate-Resumen Ejecutivo. Lima.

**Gobierno de Chile. 2002.** Guía Metodológica sobre Drenaje Ácido en la Industria Minera. 2002. Ministerio de Minería y Energía, Documentos, Acuerdo Marco Producción Limpia Sector Gran Minería Buenas Prácticas y Gestión Ambiental.

**Guerra Alarcon, Alfredo y Hiyagon Arroyo, Genevie . 2012.** Tratamiento De Agua Para Remoción De Plomo Aplicando Nanotecnología. Lima : Tesis Para Optar El Título Profesional De: Ingeniero Sanitario, 2012.

**G J Van Tonder, J P Maree y P Millard. 1994.** *Neutralitation of acid coal mine wáter with dolomite in a fluidized-bed reactor.* Nottingham, United Kingdom : International Mine Water Association, 1994. Proc. of the 5th International Mine Water Congress.

**Inga Blancas , Elfri. 2011.** “Tratamiento de Efluentes por el Método de Pantanos Artificiales(WETLAND)”. Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2011. Tesis para Optar el Grado Academico de Maestro en Ciencias con Mencion en Minería y Medio Ambiente.

**Lucas Rosales, Jorge y Romero Damas, Liz. 2015.** Determinación del pH y Tamaño de Partícula Óptimos para la Remoción de Arsenico con Dolomita del Agua Potable de Jauja Metropolitana. Universidad Nacional

del Centro del Perú. Huancayo : s.n., 2015. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico.

**Medina Quispe, R J. 2018.** Diseño Y Operatividad De La Planta De Neutralización De Aguas Ácidas De Mina Paragsha Cerro De Pasco En Minera Volcan S.A.A. Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín, 2018. trabajo de investigacion Tesis.

**Mejia Cervantes, L. C. (2018).** Pruebas Experimentales para el Tratamiento de la Contaminación de las Aguas Ácidas de la Laguna Yanamate, al Emplear un Método Activo y la Fitorremediación con la Finalidad de Cumplir el D.S. No. 015-2015-Minam. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco.

**Paucar León, Elizabeth y Florido Florez, Luis. 2015.** Estudio del Incremento en e Intercambio Ionico de un Aluminosilicato como Posibilidad de Aplicación en remedicacion de Aguas Contaminadas con MP. Arequipa : s.n., 2015. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Materiales.

**Robert H. Perry. 1994.** Manual del ingeniero químico, Mc Graw Hill, Sexta Edición, tomo 1. P.5-14, México.

**Rodríguez Valdivia, M. 2016.** Evaluacion de la capacidad de adsorción de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y metales pesados Pb,Cd, Cu, Zn y Mn empleando Zeolitas Naturales y Sinteticas. Arequipa-Perú : Tesis Doctoral en Ciencias y Tecnologías Medioambientales, 2016.

**Romero, Alfonso A, Flores, Silvana L y Arévalo, Walter. 2010.** Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita. Lima : Industrial Data, 2010, Vol. XIII. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

**Salameh , Yousef; Ahmad B, Albadarin; Stephen , Allen; Gavin, Walker; M.N.M, Ahmad. 2014.** Arsenic(III,V) adsorption onto charred dolomite: Charring optimization and batch studies. [aut. libro] S.J. Allen, y otros. [ed.] Publishing Ethics Resource Kit, Guest Editors y Support Center. *Chemical Engineering Journal*. Northern Ireland, U.K : Ordering Information and Dispatch Dates, 2014, págs. 663-671. Queen's University Belfast.

**Vargas Franco, Viviana. 2007.** Estadística Descriptiva para Ingeniería Ambiental con SPSS. Cali : Impresora Feriva S.A., 2007. ISBN 978-958-33-9319-3.

**Villas-Bôas, Roberto C y Roberto Page. 2001.** La Minería en el Contexto de la Ordenación Territorial. Rio de Janeiro : CYTED, 2001. ISBN 85.7227-147-3.

### **Páginas de Internet:**

**B, Elena. 2017.** Dolomita Propiedades, Beneficios y Usos. [En línea] WORLD HEALTH DESIGN, 2017. [Citado el: 28 de 12 de 2018.] <https://worldhealthdesign.com/dolomita-propiedades/>.

**Camara Minera del Peru. 2017.** El Control Eficaz de los Efluentes Solubles Mineros para Construir una Consciencia Ambiental. [En línea] Publicaciones, Artículos Técnicos Internacionales en Minería, 03 de Mayo de 2017. [Citado el: 2017 de Enero de 05.] <http://www.publicacionesmineria.com/contenido.php?id=25>.

**Hall, Todd. 2015.** Dolomite: Dolomite mineral information and data. Mindat.Org. [En línea] Hudson Institute of Mineralogy, 08 de 2015. [Citado el: 05 de 01 de 2019.] <https://www.mindat.org/min-1304.html>.

**Moreno Ramón, Hector, Ibáñez Asensio, Sara y Gisbert Blanquer, Juan.** Minerales Carbonatados. [En línea] Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. [Citado el: 30 de 12 de 2018.] <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13677/carbonatos%20revisado%20definitivo.pdf?sequence=3>.

**Morin, K. ; Hutt, N. 2001.** Relocation of net-acid-generating waste to improve post-mining water. [En línea] 2001. [Citado el: 25 de 11 de 2018.] <http://mdag.com/MDAG%20Paper%20Database/M0011%20-%20Morin%20and%20Hutt%201999%20-%20Eskay%20Creek%20-%20Cottbus.PDF>.

# **ANEXOS**

**ANEXO N° 01**  
**MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO**  
**DE LA LAGUNA YANAMATE**



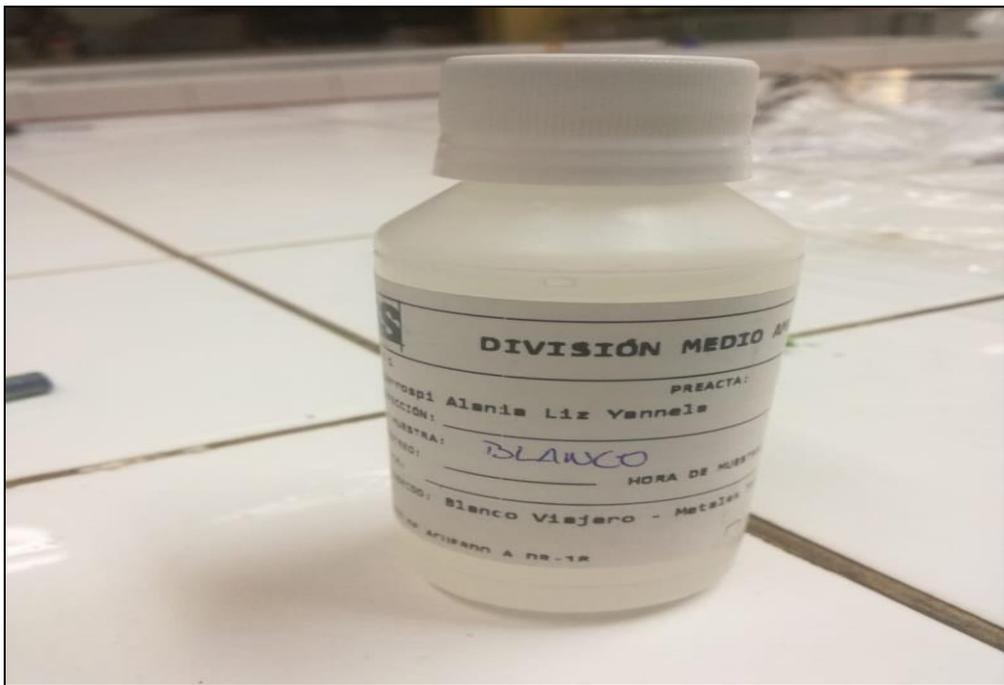
Fuente: Goole Eart

**ANEXO N° 02**  
**FOTOGRAFÍA COMPLEMENTARIA DE LA INVESTIGACIÓN**

**DOLOMITA APLICADO EN NUESTROS ENSAYOS**



**MUESTRA BLANCO QUE SE ENVIO AL LABORATORIO PARA CONTROL DE CALIDAD**



## **PEŞADO DE DOLOMITA**



## **REACTORES A NIVEL DE LABORATORIO**



**ANEXO N° 03**  
**REQUISITOS PARA TOMA DE MUESTRAS DE AGUA Y**  
**PRESERVACIÓN**

“Requisitos para toma de muestras de agua y preservación”

RECOMENDACIONES PARA EL MUESTREO Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS DE ACUERDO CON LAS MEDICIONES <sup>1</sup>					
Determinación	Recipiente <sup>2</sup>	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra <sup>3</sup>	Preservación <sup>4</sup>	Almacenamiento máximo recomendado <sup>5</sup>
Acidez	P, V	100	S	Refrigerar	14 d
Alcalinidad	P, V	200	S	Refrigerar	14 d
Boro	P	100	s, c	No require	6 meses
Bromuro	P, V	100	s, c	No require	28 d
Carbono orgánico, total	V	100	s, c	Análisis inmediato; o refrigerar y agregar H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2	28 d
Cianuro: Total	P, V	500	s, c	Agregar NaOH hasta pH>12, refrigerar en la oscuridad <sup>6</sup>	14 d <sup>7</sup>
Clorable	P, V	500	s, c	Agregar 100 mg Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /L	14 d <sup>7</sup>
Cloro, residual	P, V	500	S	Análisis inmediato	—
Clorofila	P, V	500	s, c	30 d en la oscuridad	30 d
Cloruro	P, V	50	s, c	No require	28 d
Color	P, V	500	s, c	Refrigerar	48 h
Compuestos orgánicos:					
Sustancias activas al azul de metileno	P, V	250	s, c	Refrigerar	48 h
Plaguicidas	V(S), tapón de TFE	1000	s, c	Refrigerar; agregar 1000 mg ácido ascórbico/L si hay cloro residual	7 d hasta la extracción
Fenoles	P, V	500	s, c	Refrigerar; agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2	40 d después de extraer
Purgables por purga y trampa	V, tapón de TFE	2´40	s	Refrigerar; agregar HCl hasta pH<2; agregar 1000 mg ácido ascórbico/L si hay cloro residual	14 d
Conductividad	P, V	500	s, c	Refrigerar	28 d
DBO	P, V	1000	s	Refrigerar	48 h
Dióxido de carbón	P, V	100	s	Análisis inmediato	—
Dióxido de cloro	P, V	500	s	Análisis inmediato	—

Fuente: Protocolo De Monitoreo De La Calidad De Los Recursos Hídricos  
Autoridad Nacional Del Agua – DGCRH

Determinación	Recipiente <sup>2</sup>	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra <sup>3</sup>	Preservación <sup>4</sup>	Almacenamiento máximo recomendado <sup>5</sup>
DQO	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible, o agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2; refrigerar	28 d
Dureza	P, V	100	s, c	Agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2	6 meses
Fluoruro	P	300	s, c	No require	28 d
Fosfato	V(A)	100	s	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h
Gas digestor de lodos	V, botella de gases	—		—	—
Grasa y aceite	V, boca ancha calibrado	1000	s, c	Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar	28 d
Metales, general		500	s	Filtrar <sup>6</sup> , agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2	6 meses
Cromo VI	P (A), V(A)	300	s	Refrigerar	24 h
Cobre, colorimetría	P (A), V(A)				
Mercurio	P (A), V(A)	500	s, c	Agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2, 4° C, refrigerar	28 d
Nitrógeno:					
Amoniaco	P, V	500	s, c	Analizar lo más pronto posible, o agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2; refrigerar	28 d
Nitrato	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h (28 d para muestras cloradas)
Nitrato + nitrito	P, V	200	s, c	Agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2, refrigerar	28 d
Determinación	Recipiente <sup>2</sup>	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra <sup>3</sup>	Preservación <sup>4</sup>	Almacenamiento máximo recomendado <sup>5</sup>
Nitrito	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h
Orgánico, Kjeldahl	P, V	500	s, c	Refrigerar; agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2	28 d
Olor	V	500	s	Analizar lo más pronto posible; refrigerar	—
Oxígeno, disuelto:	G, botella	300	s		
Electrodo	DBO				—

Fuente: Protocolo De Monitoreo De La Calidad De Los Recursos Hídricos  
Autoridad Nacional Del Agua – DGCRH

Determinación	Recipiente <sup>2</sup>	Volumen mínimo de muestra, ml	Tipo de muestra <sup>3</sup>	Preservación <sup>4</sup>	Almacenamiento máximo recomendado <sup>5</sup>
Electrodo Winkler				Análisis inmediato. La titulación puede aplazarse después de la acidificación	8 h
Ozono	V	1000	s	Análisis inmediato	—
Ph	P, V	50	s	Análisis inmediato	—
Sabor	V	500	s	Analizar lo más pronto posible; refrigerar	—
Salinidad	V, sello de cera	240	s	Análisis inmediato o usar sello de cera	—
Sílica	P	200	s, c	Refrigerar, no congelar	28 d
Sólidos	P, V	200	s, c	Refrigerar	2-7 d, ver protocolo
Sulfato	P, V	100	s, c	Refrigerar	28 d
Sulfuro	P, V	100	s, c	Refrigerar; agregar 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 mL; agregar NaOH hasta pH>9	7 d
Temperatura	P, V	—	S	Análisis inmediato	—
Turbidez	P, V	100	s, c	Analizar el mismo día; para más de 24 h guardar en oscuridad, refrigerar	48 h
Yodo	P, V	500	s, c	Análisis inmediato	—

Fuente: Protocolo De Monitoreo De La Calidad De Los Recursos Hídricos  
Autoridad Nacional Del Agua – DGCRH

## NOTAS

- 1- Para las determinaciones no enumeradas, usar recipientes de vidrio o plástico; preferiblemente refrigerar durante el almacenamiento y analizar lo más pronto posible.
- 2- P = plástico, V = vidrio; V(A) o P(A) = enjuagado con HNO<sub>3</sub> 1+1; V (B) = vidrio, enjuagado con solventes orgánicos o secado en estufa.
- 3- s = simple o puntual; c = compuesta.
- 4- Refrigerar = almacenar a 4° C en ausencia de luz. La preservación de la muestra debe realizarse en el momento de la toma de muestra. Para muestras compuestas, cada alícuota debe preservarse en el momento de su recolección. Cuando el uso de un muestreador automático haga imposible la preservación de cada alícuota, las muestras deben mantenerse a 4° C hasta que se complete la composición.
- 5- Las muestras deben ser analizadas lo más pronto posible después de su recolección. Los tiempos listados son los periodos máximos que pueden transcurrir antes del análisis para considerarlo válido.. Algunas muestras pueden no ser estables por el periodo máximo dado en la tabla.
- 6- El máximo tiempo de almacenamiento es de 24 h si está presente el sulfuro, el cual se puede detectar mediante papel con acetato de plomo antes de ajustar el pH; si el sulfuro está presente, puede removerse por adición de nitrato de cadmio en polvo hasta que se obtenga prueba negativa; después se filtra la muestra y se adiciona NaOH hasta pH 12.
- 7- Para metales disueltos las muestras deben filtrarse inmediatamente en el sitio de muestreo, antes de adicionar el ácido.

**ANEXO N° 04**  
**HOJA TÉCNICA DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA**  
**DOLOMITA**

## DOLOMITA 325

### HOJA TÉCNICA

#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

- Polvo fino
- Tamaño óptimo por selección y clasificación.
- Fórmula Química :  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
- CAS : 16389-88-1

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

- Apariencia : Polvo
- Color : Blanco
- Insoluble al agua. : No aplica
- Gravedad Especifica : 2.795
- pH (suspensión acuosa al 10%) : 8.6
- Densidad : 839 g/l
- Absorción de aceite : 19.78%

Especificación	Und	Típico	Rango
SiO <sub>2</sub>	%	8.38	6.0 a 11.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0.14	0.01 a 0.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0.24	0.00 a 1.00
CaO	%	29.33	28.0 a 31.5
MgO	%	19.38	18.0 a 21.5
SO <sub>3</sub>	%	0.01	0.0 a 0.2
P x C	%	39.79	37.5 a 42.5

#### USOS PRINCIPALES

- En la Industria Química de pinturas y demás.
- Tratamiento de efluentes en la industria minera.
- En Siderurgia para elaboración de aceros.

#### EMBALAJE

- Bolsas x 25 Kgs

#### ALMACENAJE

- Almacenar en lugares frescos y secos, para garantizar el rendimiento y propiedades del producto.

**ANEXO N° 05**  
**RESULTADOS DE LABORATORIO ANTES DE LOS**  
**ENSAYOS**

**SAG**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047**



Registro N° LE - 047

**INFORME DE ENSAYO N° 130237 - 2019 CON VALOR OFICIAL**

**II. RESULTADOS:**

Producto declarado		Agua Superficial	Agua Superficial
Matriz analizada		Agua Natural	Agua Natural
Fecha de muestreo		2019-01-12	2019-01-12
Hora de inicio de muestreo (h)		08:30	09:00
Condiciones de la muestra		Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada
Código del Cliente		P-1 Aguas de Laguna Yanamate	P-2 Aguas de Laguna Yanamate
Código del Laboratorio		19012379	19012380
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
<b>Metales totales</b>			
Litio (Li)	0.00004	mg/L	0.04739
Berilio (Be)	0.00001	mg/L	0.00110
Boro (B)	0.0002	mg/L	0.0398
Sodio (Na)	0.004	mg/L	4.221
Magnesio (Mg)	0.004	mg/L	40.323
Aluminio (Al)	0.004	mg/L	20.782
Silicio (Si)	0.004	mg/L	4.093
Silice (SiO <sub>2</sub> )	0.008	mg/L	8.760
Silicato (SiO <sub>3</sub> )	0.01	mg/L	11.09
Fosforo (P)	0.003	mg/L	0.430
Potasio (K)	0.008	mg/L	7.897
Calcio (Ca)	0.006	mg/L	>400
Titanio (Ti)	0.00008	mg/L	0.00726
Vanadio (V)	0.00004	mg/L	0.01048
Cromo (Cr)	0.0002	mg/L	0.0180
Manganeso (Mn)	0.000008	mg/L	16.806668
Hierro (Fe)	0.00006	mg/L	>200
Cobalto (Co)	0.000005	mg/L	0.013361
Niquel (Ni)	0.00003	mg/L	0.02908
Cobre (Cu)	0.0001	mg/L	5.0457
Zinc (Zn)	0.00005	mg/L	>20
Gallo (Ga)	0.00003	mg/L	0.05290
Germanio (Ge)	0.00002	mg/L	0.00296
Arsenico (As)	0.00002	mg/L	1.77175
Selenio (Se)	0.0002	mg/L	0.0013
Rubidio (Rb)	0.00003	mg/L	0.02298
Estroncio (Sr)	0.00002	mg/L	0.95780
Zirconio (Zr)	0.00002	mg/L	0.00100
Niobio (Nb)	0.00002	mg/L	<0.00002
Molibdeno (Mo)	0.00004	mg/L	0.00090
Plata (Ag)	0.00002	mg/L	0.00235
Cadmio (Cd)	0.00003	mg/L	0.07877
Indio (In)	0.00003	mg/L	0.01137
Estaño (Sn)	0.0006	mg/L	0.0019
Antimonio (Sb)	0.0001	mg/L	0.0651
Cesio (Cs)	0.00003	mg/L	0.01042
Bario (Ba)	0.00004	mg/L	0.00910
Lantano (La)	0.000002	mg/L	0.000950
Cerio (Ce)	0.000004	mg/L	0.003575
Terbio (Tb)	0.00002	mg/L	0.00019
Lutecio (Lu)	0.000001	mg/L	0.000016
Tantalio (Ta)	0.00001	mg/L	0.00005
Wolframio (W)	0.00003	mg/L	0.00171
Mercurio (Hg)	0.00002	mg/L	<0.00002
Talio (Tl)	0.00002	mg/L	0.02353
Plomo (Pb)	0.0001	mg/L	0.3564
Bismuto (Bi)	0.000005	mg/L	0.029515
Torio (Th)	0.000006	mg/L	0.000052
Uranio (U)	0.000002	mg/L	0.005387

L.D.M.: Límite de detección del método

Quim. Belbeth Y. Fajardo León  
C.Q.P. N° 648  
Asesor Técnico Químico

**EXPERTS  
WORKING  
FOR YOU**

\* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

• Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

**SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.**

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima

• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 3

**ANEXO N° 06**  
**RESULTADOS DE LABORATORIO DESPUES DE LOS**  
**ENSAYO**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL  
MA1905397**

**BERROSPI ALANIA LIZ YANNELA**

Av los Proceres N° 803-San Juan

ENV / LB-345147-002

PROCEDENCIA : YANAMATE

Fecha de Recepción SGS : 06-03-2019

Fecha de Ejecución : Del 06-03-2019 al 09-03-2019

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
P1-10
P1-25
P2-10
P2-25

**Emitido por SGS del Perú S.A.C.**

**Impreso el 09/03/2019**



**Frank M. Julcamoro Quispe**

**C.Q.P. 1033**

**Coordinador de Laboratorio**

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL  
MA1905397**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P1-10	P1-25	P2-10
FECHA DE MUESTREO					05/03/2019	05/03/2019	05/03/2019
HORA DE MUESTREO					16:15:00	16:20:00	16:40:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL	AGUA NATURAL	AGUA NATURAL
SUBCATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE LAGO	AGUA SUPERFICIAL AGUA DE LAGO	AGUA SUPERFICIAL AGUA DE LAGO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
<b>Metales Totales</b>							
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	0.046	0.072	0.034
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00013	<0.00013	0.00190	<0.00013
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.00889	0.01232	0.01232
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0191	0.0131	0.0152
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	<0.00003	0.00056
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.002	0.006	0.110	0.159	0.090
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.02988	0.00421	0.02705
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.003	0.009	1,252.280	1,265.243	1,190.129
Cerio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00008	0.00024	<0.00024	<0.00024	<0.00024
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0073	0.0023	0.0081
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00885	0.00837	0.00896
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	0.18321	0.03452	0.08031
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Estaño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	<0.00010	<0.00010
Estroncio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	1.2871	1.2939	1.3113
Fósforo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.015	0.047	0.113	0.050	<0.047
Galio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00012	0.00069	0.00093	0.00078
Germanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00005	0.00015	0.00047	0.00022	<0.00015
Hierro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	8.4900	0.3002	1.7075
Lantano Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015	<0.0015
Litio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0656	0.0558	0.0575
Lutecio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	59.524	82.410	56.565
Manganeso Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	11.62663	10.32186	11.80741
Mercurio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00064	0.00102	0.00107
Niobio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0196	0.0163	0.0204
Plata Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	0.009727	0.000623	<0.000010
Plomo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006	0.0027
Potasio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	32.92	11.27	132.55

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL  
MA1905397**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P1-10	P1-25	P2-10
FECHA DE MUESTREO					05/03/2019	05/03/2019	05/03/2019
HORA DE MUESTREO					16:15:00	16:20:00	16:40:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL	AGUA NATURAL	AGUA NATURAL
SUBCATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE LAGO	AGUA SUPERFICIAL AGUA DE LAGO	AGUA SUPERFICIAL AGUA DE LAGO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
<b>Metales Totales</b>							
Rubidio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	0.0009	0.0190	0.0190	0.0184
Selenio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	0.0030	<0.0013	0.0028
Silice Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.09	0.27	9.76 *	11.09 *	9.70 *
Silicio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	4.56	5.19	4.53
Sodio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.006	0.019	26.737	31.718	20.927
Talio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.01542	0.00957	0.01474
Tantalio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Thorio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019	<0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0043	0.0026	0.0023
Uranio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	0.000778	0.003090	0.001141
Vanadio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Wolframio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Zinc Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0008	0.0026	17.7032	8.1359	16.4030
Zirconio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00015	0.00045	0.00046	<0.00045	<0.00045

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P2-25
FECHA DE MUESTREO					05/03/2019
HORA DE MUESTREO					16:45:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUBCATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE LAGO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
<b>Metales Totales</b>					
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	0.065
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00013	0.00146
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.01515
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0104

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL  
MA1905397**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P2-25
FECHA DE MUESTREO					05/03/2019
HORA DE MUESTREO					16:45:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUBCATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE LAGO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
<b>Metales Totales</b>					
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00034
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.002	0.006	0.148
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00275
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.003	0.009	1,266.167
Cerio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00008	0.00024	<0.00024
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0019
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00732
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	0.02479
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003
Estaño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010
Estroncio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	1.2750
Fósforo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.015	0.047	<0.047
Galio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00012	0.00096
Germanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015
Hierro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	0.2449
Lantano Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015
Litio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0530
Lutecio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Magnesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	69.012
Manganeso Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	10.49170
Mercurio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00074
Niobio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015
Niquel Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0152
Plata Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010
Plomo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0021
Potasio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	14.97
Rubidio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	0.0009	0.0166
Selenio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013
Silice Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.09	0.27	10.58 *
Silicio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	4.95

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL  
MA1905397**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					P2-25
FECHA DE MUESTREO					05/03/2019
HORA DE MUESTREO					16:45:00
CATEGORIA					AGUA NATURAL
SUBCATEGORIA					AGUA SUPERFICIAL AGUA DE LAGO
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
<b>Metales Totales</b>					
Sodio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.006	0.019	30.660
Talio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00770
Tantalio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021
Teluro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	<0.003
Thorio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0033
Uranio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	0.002543
Vanadio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003
Wolframio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006
Yterbio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Zinc Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0008	0.0026	6.7898
Zirconio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045

**Notas:**

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

(\*) El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL - DA , para la matriz en mención.

**ANEXO N° 07**  
**MÉTODO QUÍMICO**  
**DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO BATCH**

## Método químico

### Descripción del experimento Batch

Para determinar la dosis óptima de dolomita a usar, se realizaron las pruebas con agitación mecánica y un volumen de 500 ml de muestra de agua ácida de mina. El procedimiento utilizado fue añadir 5 g de dolomita y esperar hasta la estabilización del pH. Una vez que el pH se estabilizó se volvió a añadir 5 g de dolomita. Esta operación se repitió hasta conseguir neutralizar el agua ácida. Mediante este experimento, se determinó que las cantidades entre 10 y 25 g de dolomita son óptimas para neutralizar el agua ácida en 500 mL. El diagrama de flujo seguido para estas pruebas fue el siguiente:

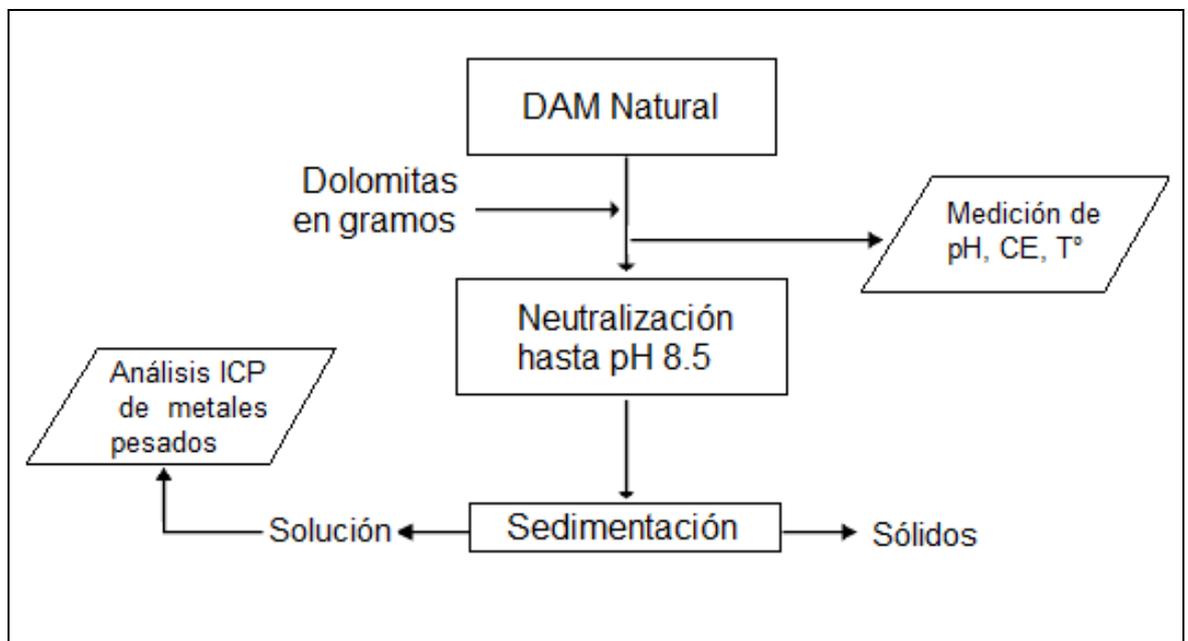


Diagrama de Flujo Método químico tratamiento de AMD en Batch  
Fuente: Elaboración Propia

**ANEXO N° 08**  
**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**Matriz de consistencia: “REMOCIÓN DE METALES PESADOS PRESENTES EN LAS AGUAS ÁCIDAS DE LA LAGUNA YANAMATE MEDIANTE LA APLICACION DE LA DOLOMITA COMO AGENTE REMEDIANTE A ESCALA EXPERIMENTAL-2019”**

<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis General</b>
¿En qué medida la aplicación de la dolomita como agente remediante removerá los metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate a escala experimental?	Determinar la eficiencia de remoción de los metales pesados en las aguas ácidas de la laguna Yanamate mediante la aplicabilidad de la dolomita como agente remediante a escala experimental.	La aplicación de la Dolomita como agente remediante remueve eficientemente los metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate a escala experimental.
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis Específicos</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cuáles son los valores de pH que se obtendrá aplicando la dolomita como agente remediante en las aguas ácidas de la laguna Yanamate?</li> <li>2. ¿Cuáles son los metales pesados que pueden removerse en las aguas ácidas de la laguna Yanamate aplicando la Dolomita?</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determinar los valores de pH que se obtendrá aplicando la dolomita como agente remediante en las aguas ácidas de la laguna Yanamate.</li> <li>2. Determinar los metales pesados que serán removidos en las Aguas ácidas de la laguna Yanamate aplicando la Dolomita.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Los valores de pH obtenidos se encuentran dentro del rango establecido por el ECA-Categoría 4, aplicando la dolomita como agente remediante en las aguas ácidas de la laguna Yanamate.</li> <li>2. Pb, Cu, Fe y Zn son los metales pesados que se remueven en las aguas ácidas de la laguna Yanamate aplicando la dolomita.</li> </ol>

<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis Específicos</b>
<p>3. ¿Cuál es la reducción porcentual de las concentraciones de metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate mediante la aplicación de la dolomita?</p>	<p>3. Determinar el porcentaje de reducción de las concentraciones de metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate mediante la aplicación de la dolomita.</p>	<p>3. Se logra remover en más del 80% de concentraciones de los metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate mediante la aplicación de la Dolomita .</p>