

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



**TESIS**

**“PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA EL TRATAMIENTO DE LA  
CONTAMINACION DE LAS AGUAS ACIDAS DE LA LAGUNA  
YANAMATE, AL EMPLEAR UN METODO ACTIVO Y LA  
FITORREMEDIACION CON LA FINALIDAD DE CUMPLIR EL D.S. No.  
015-2015-MINAM”**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**Presentado por:**

**Bachiller: MEJIA CERVANTES LIZA CRISTINA**

**Cerro de Pasco, 2018**

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



**TESIS**

**“PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA EL TRATAMIENTO DE LA  
CONTAMINACION DE LAS AGUAS ACIDAS DE LA LAGUNA  
YANAMATE, AL EMPLEAR UN METODO ACTIVO Y LA  
FITORREMEDIACION CON LA FINALIDAD DE CUMPLIR EL D.S. No.  
015-2015-MINAM”.**

**SUSTENTADO Y APROBADO ANTE LA COMISION DE JURADOS**

-----  
**Mg. Julio Antonio Asto Liñan**  
**PRESIDENTE**

-----  
**Dr. Magno Ledesma Velita**  
**JURADO**

-----  
**Mg. Luis Alberto Pacheco Peña**  
**JURADO**

-----  
**Mg. Luis Villar Requis Carbajal**  
**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Bartolome Mejía Olivas y Clelia Aurea Cervantes Jaimes; y hermanos: Victor, Jeyson, Danny, Cristian y Paul; e hijo, por su apoyo incondicional que me brindaron siempre y por ser todos ellos la luz de mi vida para lograr mis metas.

## INDICE

RESUMEN .....	7
INTRODUCCIÓN .....	9
CAPITULO I.....	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1.- Importancia del problema .....	12
1.2. Formulación del problema .....	14
1.2.1. Problema General.....	14
1.2.2. Problema Específicos .....	14
1.3. Objetivos: Generales y Específicos .....	14
1.3.1. Objetivo General .....	14
1.3.2. Objetivo Específicos .....	15
1.4. Justificación.....	15
A. Constitución Política del Perú.....	16
B. Ley General del Ambiente .....	17
C. Estándar de Calidad Ambiental (ECA) .....	17
1.5. Limitaciones .....	22
CAPITULO II .....	23
MARCO TEORICO .....	23
2.1. Antecedentes de la Investigación .....	23
2.2. Bases Teóricas .....	32
2.2.1. Ubicación Geográfica .....	32
2.2.1.1. Subsistema Físico Natural.....	32
A.Climatología .....	32
B.Aspectos geográficos o Litología .....	35
C.Estratigrafía .....	35
D.Hidrografía .....	35
E.Hidrometría .....	37
F.Vegetación .....	39
G.Fauna .....	40
H.Paisaje.....	41
2.2.2. Problema de la Contaminación del Agua de la Laguna Yanamate .....	41
2.3. Procesos Químicos de Formación del Aguas Acidas.....	45
A.La cal (también llamada cal viva) .....	47
B.Oxido de Calcio .....	47
2.4. Tipos de Precipitación:.....	49
A.Precipitacion Con Sulfuro: .....	49
B.Precipitacion por Sementacion: .....	49
C.Precipitacion por Carbonatos: .....	49
D.Precipitacion Por Reduccion Con SO <sub>2</sub> .....	49
2.5. Definición de términos básicos .....	50
A.Agua Acida .....	50
B.Conductividad Eléctrica (CE).....	50
C.Sólidos Suspendidos .....	50

D.Contaminantes Prioritarios .....	51
E.Efluentes Industriales.....	51
F.Metales Pesados .....	52
G.Materia Inorgánica Disuelta .....	52
H.Métodos analíticos.....	53
I.PH .....	53
CAPITULO III .....	55
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	55
3.1 Diseño de investigación .....	55
3.2 Población y muestra .....	57
A.La población.....	57
B.La muestra .....	57
3.3 Método de la Investigación .....	57
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	58
A.La observación .....	58
B.Fichaje .....	58
3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	58
A.Para la variable independiente.....	58
B.Para la variable dependiente:.....	59
3.6 Tratamiento estadístico .....	59
3.7. Hipótesis:.....	59
3.7.1. Hipótesis General .....	59
3.7.2. Hipótesis Específicos .....	59
3.8 Variables.....	60
3.8.1 Variable Independiente .....	60
3.8.2Variable Dependiente .....	60
3.8.3Variable Concurrente .....	60
CAPITULO IV .....	61
RESULTADOS Y DISCUSION.....	61
4.1. TRATAMIENTO ESTADISTICO E INTERPRETACION DE CUADROS .....	61
4.1.1. Aplicación del Método Activo (Cal) para la Neutralización del Agua Acida. ....	62
A.CELDA 1– pH 8,00.....	62
B.CELDA 2 – pH 9,02 .....	64
C.CELDA 3 (ALCALINO) – pH 10,02.....	66
4.1.2. Estudio del Comportamiento de los Metales Disueltos en el Tratamiento del agua acida con cal, en la Laguna Yanamate.....	67
A.Hierro.....	68
B.Cobre .....	69
C.Cromo VI.....	70
4.1.3. Empleo de la Tecnología de la Fitorremediación Después del Tratamiento del Agua Acida con Cal. ....	71
4.2. Presentacion de Resultados .....	73
4.2.1. Resultados del Método Activo (Cal) para la Neutralización del Agua Acida. ....	73

A. Los resultados para la prueba de la muestra en la celda 1, los resultados se muestran en gráficos: 6 y 7. ....	73
B.Los Resultados para la muestra en la celda 2, los resultados se muestran en los gráficos: 8, 9 y 10. ....	75
C.Los resultados obtenidos en la muestra de la Celda No.3 se muestran en los siguientes gráficos: 11, 12 y 13. ....	78
4.2.2. Resultados de las Pruebas de Fitorremediación después de realizado el Método Activo (Ca) para la Neutralización del Agua Acida. ....	80
4.3. Prueba de Hipótesis .....	82
4.3.1. Hipótesis General .....	82
4.3.2. Hipótesis Específicos .....	83
4.4Discusión de Resultados.....	84
CONCLUSIONES .....	87
SUGERENCIAS .....	89
BIBLIOGRAFIA.....	90

## **RESUMEN**

Las operaciones mineras en la provincia de Pasco y en otras regiones de nuestro país, requieren de un volumen considerable de agua, tanto para el proceso minero metalúrgico como para el abastecimiento del personal y demás operaciones que se realizan, lo cual motiva a su vez un considerable uso y consumo de un volumen de aguas.

Lo que genera finalmente aguas industriales las cuales requieren que se realice un tratamiento previo antes de ser vertidas a los diversos cursos y cuerpos de agua natural existentes en la zona como ríos, lagunas, etc.

Este estudio se ha realizado en la zona donde está ubicada la laguna Yanamate, que soporta un constante vertimiento de agua acida producto de la actividad minera intensa de la empresa minera Cerro S.A.C., por lo que existe actualmente un alto riesgo de contaminación a causa de los impactos negativos que se viene provocando y generando una serie de problemas en el medio ambiente y en la salud humana del poblador de la zona de Yanamate.

Actualmente existen diversos estudios sobre el impacto ambiental provocado a la Laguna Yanamate, sin embargo, estudios relacionados sobre la descontaminación de las aguas por el problema del vertimiento del agua industrial con concentraciones de metales pesados, son muy pocos estos estudios, y son escasos y menos concluyentes.

Este estudio realiza un análisis de la información de la contaminación por metales pesados para determinar los riesgos ambientales y el impacto en la zona del estudio.

El presente estudio es también una actualización a la fecha de la Hidrología de la Laguna Yanamate, el cual incluye las últimas mediciones meteorológicas y principales datos hidrológicos (precipitación, escorrentía, aguas industriales) que han sido implementados en los últimos años. Con la finalidad de lograr un mayor control y protección ambiental de los recursos hídricos.

## INTRODUCCIÓN

La existencia y gravedad de los problemas de contaminación del agua son reconocidos en diversas formas debido a los diferentes usos que le da actualmente por el hombre. La minería en nuestro país, debido al crecimiento en las operaciones mineras que realizan en la actualidad hacen uso de grandes volúmenes de agua, de la misma forma las poblaciones por el incesante crecimiento cada día se requiere de atender de agua, de allí el interés de nuestro país en institucionalizar instrumentos que incorporen políticas e instrumentos en la variable ambiental; para solucionar este problema.

El problema de la contaminación del agua en la provincia de Pasco, se genera por las descargas domésticas y mineras sin ningún tratamiento, son las que ocasionan mayor impacto ambiental y contaminación en las aguas receptoras.

La contaminación ambiental es definida por Brack (1987) “como la acción de ensuciar el medio ambiente, con residuos de actividades humanas tanto de origen industrial como doméstico”, específicamente uno de los grandes problemas ecológicos de la Región es la contaminación de los recursos acuáticos (ríos, quebradas, lagunas y Lagos). Si bien es cierto la minería genera un desarrollo económico del país, también es notorio que la explotación inadecuada de los recursos mineros trae consigo la mortalidad y extinción de comunidades bióticas acuáticas, las aguas se tornan inservibles para consumo doméstico y actividades agropecuarias<sup>1</sup>

En el año 1992, se realiza la investigación a los principales cuerpos de agua, de la entonces Región Andrés Avelino Cáceres que realizó la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión y el Ministerio de Salud Lima

---

<sup>1</sup>Fuente: CONTAMINACION DE LOS ECOSISTEMAS ACUATICOS DE LA REGION ANDRES AVELINO CACERES

La laguna de Yanamate en 1981, es declarada de necesidad y de utilidad pública y en 1982 se inicia la descarga continua de agua acida de mina de la Empresa Minera Centromin Perú a esta laguna, en 1987 el nivel del espejo de agua alcanza su máxima cota poniendo en peligro la estabilidad de la carretera central a fines de ese año inicia el descenso de las aguas de la laguna siendo una de las causas probables de este fenómeno la activación de la falla geológica que está atravesando la laguna.

El incremento de la velocidad de reacción de las aguas ácidas con los macizos de roca caliza ubicados en los lechos de la laguna de 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 en agua ácida dejando de neutralizar dichas aguas ácidas, esto debido producto de los niveles elevados de concentraciones acidez y a la presencia de metales de las aguas provenientes de la mina, saturando por completo el agua de la laguna de Yanamate.

Siendo uno de los mayores problemas el agua contaminada de la laguna de Yanamate, el desconocimiento hacia donde derivan sus aguas de infiltración, estimándose que se dirigen a la cuenca de Huallaga. por ello la Empresa Minera realizo un estudio denominado “Estudio Hidrodinámico de la Laguna de Yanamate con trazadores Isotópicos y artificiales (Rodamina-C), Deuterio, Tritio, Oxigeno 18”<sup>2</sup>. Efectuado por el Ingeniero José Rojas, en la que se concluye que las aguas descargarían a la cuenca del Huallaga, esto ocurrirá dentro de 100 años.

Conociendo la problemática ambiental y los problemas que actualmente se tiene en la zona de la laguna Yanamate, por los vertimientos directos

---

<sup>2</sup> Fuente: “Estudio Hidrodinámico de la Laguna de Yanamate con trazadores Isotópicos y artificiales (Rodamina-C), Deuterio, Tritio, Oxigeno 18”. Efectuado por el Ingeniero José Rojas, 15/11/2018 15:33:46

de agua acida de la Empresa Minera Cerro S.A.C. me he planteado realizar el presente trabajo de investigación.

# **CAPITULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1.- Importancia del problema**

Hoy en día existen diversas tecnologías que se pueden utilizar para poder mejorar la calidad de agua y del ambiente de la laguna de Yanamate. En el presente estudio realizado se propone el método activo al emplear cal y la fitorremediación con la introducción de plantas al ambiente del agua neutralizada de la laguna de Yanamate.

En los últimos años se han incrementado los estudios e investigaciones relacionados al empleo del método activo y la fitorremediación, para solucionar problemas de contaminación del agua en diferentes partes del mundo entero; sus funciones y valores están siendo reconocidos, mucho más ahora debido a su alarmante, rápida disminución y desaparición de contaminantes presentes.

En nuestro país los problemas de contaminación de las aguas de ríos, lagunas y lagos son cada vez más evidentes. Por un lado la minería, por otro lado las ciudades, están causando un deterioro de la calidad del

agua, debido al vertimiento de los efluentes sin tratamiento a las fuentes naturales de agua, provocando la contaminación de estos, afectando la salud de los pobladores y originando graves perjuicios a los ecosistemas acuáticos, provocando la muerte de organismos que se desarrollan en ellos y constituyendo visibles volúmenes de contaminación hacia un recurso que cada vez se encuentra en escasas a nivel mundial.

El tratamiento activo al emplear cal y la fitorremediación al emplear las plantas en el tratamiento del agua acida con presencia de metales pesados ha dado buenos resultados esta tecnología en estudios realizados. Esta tecnología se viene empleando en la solución del problema del agua acida en las Empresas Mineras: Pan American Silver, Brocal, Chungar, Alpamarca, etc. Contemplados en sus PAMAs y estudios de Impacto Ambiental.

Actualmente la tecnología de la fitorremediación se viene empleando para descontaminar lagunas contaminadas del lago Titicaca en Puno y en otras partes del mundo, En el caso de la región Pasco, las aguas de la laguna contaminada como la de Patarcocha, se viene tratando con el empleo de la aireación extendida, micro algas y la totora, por lo que se hace necesario incrementar estudios con el uso de especies vegetales de la zona en el tratamiento de la laguna Yanamate.

También es necesario conocer la hidrología, bioquímica, fauna y flora de la laguna de Yanamate en cuestión, cuantificación de su valor ambiental, social y económico, además de la legislación ambiental al respecto.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Será posible emplear el método activo y la fitorremediación para descontaminar las aguas de la laguna Yanamate, con la finalidad de cumplir el D.S. No. 015-2015-MINAM?

### **1.2.2. Problema Específicos**

- A. ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos y químicos que vienen alterando la calidad del agua de la Laguna de Yanamate
- B. Será factible emplear el método activo y la fitorremediación para el tratamiento del agua de la Laguna Yanamate, con el fin de mejorar la calidad y devolverle la vida a este Ecosistema contaminado?

## **1.3. Objetivos: Generales y Específicos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Emplear el método activo y la fitorremediación para descontaminar las aguas de la laguna Yanamate, con la finalidad de cumplir el D.S. No. 015-2015-MINAM.

### **1.3.2. Objetivo Específicos**

- A. Identificar los parámetros fisicoquímicos y químicos que vienen alterando la calidad del agua de la Laguna de Yanamate
- B. Proponer el empleo del método activo y la fitorremediación para el tratamiento del agua de la Laguna Yanamate, con el fin de mejorar la calidad y devolverle la vida a este Ecosistema contaminado.

### **1.4. Justificación.**

Mediante el desarrollo de la presente investigación se realiza un planteamiento de solucionar problema de la contaminación que se viene ocasionando a la laguna Yanamate, en la actualidad se tienen identificados a los responsables de la contaminación, no asumen ninguna propuesta y alternativa de solución; y generen proyectos que permitan su tratamiento para solucionar el deterioro del ambiente.

El D. S. N° 003-2009-EM, sobre el Reglamento de pasivos ambientales de la actividad minera, establece las modalidades mediante las cuales se asume la remediación voluntaria de un pasivo ambiental, una de las cuales comprende, la reutilización y reaprovechamiento<sup>3</sup>

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que

---

<sup>3</sup> D. S. N° 003-2009 EM. (2009, Enero 15). Reglamento de pasivos ambientales de la actividad minera. El Peruano, p. 388545.

aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley; Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

El presente trabajo de investigación se sustenta desde la base normativa legal de nuestro país:

#### **A. Constitución Política del Perú**

Que, el numeral 22 del artículo 2° establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

## **B. Ley General del Ambiente**

Que, según el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como a sus componentes asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, referido al rol del Estado en materia ambiental, dispone que éste a través de sus entidades y órganos correspondientes diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha Ley.

## **C. Estándar de Calidad Ambiental (ECA)**

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo.

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso.

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo.

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación.

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación.

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas,

el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país.

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua.

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad, publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo.

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo.

En la investigación se ha tomado en cuenta la clasificación de la calidad del agua de la laguna Yanamate, como categoría 4, al haberse categorizada por la Autoridad nacional del Agua (ANA), como un ambiente para la conservación del ambiente acuático.

**Tabla No. 1: Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

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	(μS/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> <sup>-</sup> ) (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 Suspendedos 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
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<b>BTEX</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Bifenilos Policlorados</b>						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
<b>PLAGUICIDAS</b>						
<b>Organofosforados</b>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
<b>Organoclorados</b>						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004

DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000019	0,000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000087	0,000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,000023	0,000023
Heptacloro	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Carbamato</b>						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0015	0,0015
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).  
(b) Después de la filtración simple.  
(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub>).  
Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

El método activo de emplear la cal, se basa en mecanismos de los procesos físicos y químicos, que tienen lugar en modificar las condiciones de la composición de las aguas, de forma que se favorezca la formación de especies y la retención de aniones y cationes metálicos.

Como plantear y establecer conceptos de determinadas especies vegetales que reducirán la contaminación para lograr una mejora en la calidad de agua de la laguna de Yanamate y de esta manera contrarrestar los efectos de contaminación, a fin de incrementar la flora y fauna existente.

La fitorremediación se basa en los mismos procesos biológicos que tienen lugar en modificar las condiciones de la composición del agua de la laguna Yanamate, de forma que se favorezca y ayude a establecer la

formación de especies de plantas para el establecimiento de la flora y fauna, como también la retención de aniones y cationes metálicos.

### **1.5. Limitaciones**

Para hacer uso del método activo, es necesario del uso de insumos químicos en nuestra investigación se hace uso de la cal, el cual incrementa los costos de tratamiento del agua, se tiene también inconvenientes y limitaciones por ejemplo en las pruebas realizadas con la aplicación de la fitorremediación porque demanda mucho tiempo en generar cambios sustanciales en la calidad del agua y generar intermediarios metabólicos inaceptables.

El tiempo requerido para un tratamiento adecuado puede ser difícil de predecir y el seguimiento y control de la velocidad de reacción y/o extensión del proceso en el laboratorio es laborioso. La aplicabilidad de esta tecnología.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes de la Investigación**

**A. Luciana Cadorin, Elvis Carissimi y Jorge Rubio: “Avances en el Tratamiento de Aguas Ácidas de Minas”. Scientia et Technica Año XIII, No 36. Universidad Tecnológica de Pereira. Septiembre de 2007.**

##### **Resumen**

Efluentes mineros líquidos, generados en actividades mineras (carbón y sulfuros metálicos), especialmente el drenaje ácido de minas (DAM), causan grandes problemas ambientales debido a su alto potencial de contaminación de los recursos hídricos superficiales o subterráneos. El DAM es caracterizado por sus bajos valores de pH y elevadas concentraciones de iones inorgánicos tóxicos. El trabajo resume alternativas para la eliminación de iones metálicos y sulfato vía neutralización, precipitación (o co-precipitación) y separación sólido-líquido, en

escala de laboratorio y piloto. Los sólidos (precipitados coloidales) generados son removidos usando flotación por aire disuelto (FAD). El énfasis fue en la eliminación de los iones sulfato, uno de los procesos más difíciles y costosos y la mejor alternativa consistió en la eliminación de iones sulfato (>1000 ppm), iones Fe y Mn, simultáneamente, a pH 12. En estas condiciones y en la presencia de cal y sales de aluminio (policloruros-PAC), en tasas másicas de PAC:  $\text{SO}_4^{-2}$ , los iones sulfato son precipitados como etringita y los iones Fe y Mn co-precipitados (hidróxidos). Los sólidos producidos fueron separados por flotación por aire disuelto (FAD) que presentó ventajas significativas sobre la sedimentación, en términos de calidad del agua tratada y una mayor cinética, alcanzando una tasa de operación (piloto- $1\text{m}^3\text{ h}^{-1}$ ) de  $13\text{ m}^3\text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$  y turbidez residual del agua de 0,5 NTU. Se concluye que las técnicas presentadas en este trabajo presentan un gran potencial en el tratamiento del DAM con reusó de las aguas.

**C. Serna Farfán, José Luis: “Evaluación del método activo para determinar contenidos de humedad de suelos”. Pontificia Universidad Católica de Chile.**

**URI: <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/15704>. 2015.**

### **Resumen**

En los últimos años las mediciones distribuidas de temperaturas con cables de fibra óptica (FO-DTS) se han utilizado con éxito para

investigar una amplia gama de procesos hidrológicos. En particular, se han desarrollado dos métodos para monitorear el contenido de humedad volumétrico del suelo: el método pasivo y activo. Esta tesis presenta una evaluación del método activo para determinar el contenido de humedad del suelo. En el método activo, un cable de fibra óptica con elementos conductores es enterrado en el suelo, y un pulso de calor de duración  $t_f$  es aplicado a lo largo del cable. Luego, la respuesta térmica del cable se analiza para determinar el contenido de humedad en distintos segmentos del cable. Para estimar el contenido de humedad, el método activo utiliza una correlación empírica entre contenido de humedad volumétrico y temperatura acumulada, la cual se define como la integral del aumento de temperatura en cada segmento del cable entre el instante inicial del pulso de calor y un tiempo final ( $t_0$ ), el cual no necesariamente corresponde a la duración del pulso de calor.

Para evaluar el método activo se realizaron distintos experimentos. Estos experimentos tuvieron distintas duraciones del pulso de calor (2, 5, 10 y 20 min con potencias eléctricas de 2.12, 2.58, 2.32 y 2.43  $W m^{-1}$ , respectivamente). Estas experiencias permitieron determinar la duración óptima del pulso de calor ( $t_f$ ), el tiempo de integración óptimo ( $t_{int}$ ), el tiempo final óptimo ( $t_0$ ) utilizado en el cálculo de la temperatura acumulada, y la corriente óptima que

debe circular por el cable de fibra óptica para generar el pulso de calor. Los resultados revelan que los parámetros óptimos son:  $t_f = 20$  min,  $t = 150$  s,  $t_0 = t_f$ , e  $I = 2248.17$  A ( $2.43$  W m<sup>-1</sup>). Este análisis permitió obtener contenidos de humedad que van desde 0.14 hasta 0.46 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, con errores menores que 0.07 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Por lo tanto, el método activo aparece como una técnica promisoría para monitorear contenidos de humedad volumétricos de manera espacialmente distribuida.

**C. Wang, L. P., Ponou, J., Matsuo, S., Okaya, K., Dodbiba, G., Nazuka, T., & Fujita: “Investigaron la viabilidad de un proceso de tratamiento que combina la neutralización con cal y la sulfuración con sodio (NaHS) en la recuperación selectivamente del cobre (Cu) y zinc (Zn) sobre hierro (Fe) para la remediación del drenaje ácido de minas (DAM) generado en una mina de cobre abandonada situada en el este de Japón”. International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources, 136-140. 2014.**

Resumen

Por tratamiento de neutralización con cal, el Fe comenzó a precipitar cuando el pH del DAM se ajustó desde pH inicial 2,8 a pH 4, y totalmente precipitó por encima de pH 5. El Cu comenzó a precipitar entre pH 5-6, y totalmente precipitó por encima de pH 8. El Zn comenzó a precipitar a pH 7, y totalmente precipitó por

encima de pH 9. Como resultado, el Cu y Zn coprecipitaron a pH 6-8 y no podían ser precipitados individualmente.

Mediante la adición de NaHS de 20 mg/L en el DAM a pH 2,8 sin ajuste de pH, todo el Cu precipitó mientras que Fe y Zn no lo hicieron. El Fe se precipitó selectivamente sobre Zn después por neutralización con cal a pH 5; sin embargo, la adición de un agente oxidante tal como 0,02 vol. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fueron necesarios. Después que el Cu y Fe se precipitaron el Zn fue precipitado por neutralización con cal por encima de pH 9.

**D. Guillermo Ray Ramírez Sandoval: "Estudio Técnico del Tratamiento de Aguas Acidas". Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional del Callao. Callao-Perú. 2013.**

Resumen

En el desarrollo de la tesis titulada: "Estudio Técnico del Tratamiento de Aguas Acidas", antes del tratamiento en sí, conociendo la composición química de un mineral, se ha calculado el potencial de acidez máxima el potencial de neutralización y el potencial neto de neutralización. Estas relaciones nos permiten predecir si el mineral a explotar producirá o no un agua acida con la finalidad de tomar las previsiones del caso y usar métodos preventivos (pasivos), antes que los correctivos (activos).

En el tratamiento activo de aguas de mina, es importante conocer el análisis químico del agua de mina, con la finalidad de tomar la

estrategia del caso, según sea los usos que se va a dar al agua tratada.

En este caso específico, inicialmente se eleva el pH de 2.5 a 4, usando hidróxido de calcio, que permite precipitar al hierro. En esta etapa se elimina el hierro como hidróxido de hierro por filtración. Posteriormente se sigue elevando el pH de 4 a 7, que permite precipitar el cromo. Se sigue elevando el pH de 7 a 8.1 donde se precipita el catión  $\text{Cu}^{+2}$ . Finalmente se eleva el pH de 8.1 a 10.5 para precipitar los iones  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Cd}^{+2}$ .

Una vez separada la mayoría de los cationes en medio alcalino, se requiere llevar el pH a un valor neutro. Esto se consigue adicionando paradójicamente ácido sulfúrico. Se obtiene como resultado un agua de mina exenta de una serie de cationes los cuales han precipitado como hidróxidos insolubles que conjuntamente con el sulfato de calcio son retirados en forma de sólidos.

Se desarrolla un programa de cálculo que utiliza como datos el análisis químico y el volumen de agua de mina que permite calcular la masa total de hidróxido de calcio necesario y la masa de sólidos totales formados.

**E. Sergio Li Lin: “Medición del Potencial de Generación de Agua Ácida para un Relave en la Zona Central del Perú y sus Necesidades de Neutralización”. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Setiembre 2013.**

Resumen

El presente trabajo trata de hallar un método para la medición del potencial de generación ácida de un relave minero en la zona central del Perú, mediante muestras recolectadas de la zona y análisis de laboratorio a escala. Se trata además de encontrar una metodología que simplifique el proceso de medición de potencial de generación ácida y aumente la confiabilidad de los resultados obtenidos a comparación de los métodos que actualmente se utilizan. Se complementará el trabajo tratando de hallar posibles métodos de solución y neutralización a la problemática producto de la generación de acidez de estos relaves.

El primer capítulo describirá las características del fenómeno de formación de aguas ácidas explicando: las reacciones, la influencia de los factores que apoyan, los métodos de transporte y migración y la metodología actual de estimación. Se complementará explicando los ensayos utilizados para la predicción del DAM, ensayos estáticos y cinéticos.

En el segundo capítulo se describirá la metodología de trabajo a utilizar, describiendo detalladamente los trabajos a realizar. También se hará la descripción de las muestras de relave recolectadas del centro del Perú, estas incluyen las zonas de: San Miguel, Mar Túnel, Yanacancha, Chaupimarca, Quilacocha y Yauli.

El tercer capítulo se centrará en el análisis y en los resultados obtenidos producto de los ensayos realizados. Se mostrará el desarrollo experimental y la presentación y discusión que se llevó a cabo a partir de los valores hallados. La presentación de cada muestra de relave a tratar incluirá los resultados de los ensayos por análisis químico, la difracción de rayos X y la evaluación por microscopio petrográfico mientras que en la discusión de resultados se definirán los contenidos de: especies neutras, especies generadoras de ácido y las especies de tipo básico; además del análisis de la influencia de estas en los resultados finales a mostrar comparando estos con la legislación peruana vigente. Se encontrará que las muestras tienen un mayor contenido de especies neutras, entre 50 e incluso 97% de peso, mientras que las especies de tipo básico y las de tipo ácido están presentes en menor cantidad, entre 0 y 33% las básicas y entre 2.7 y 17% las ácidas.

Según los análisis químicos se encontró además que las muestras de relave contienen valores de elementos que pueden presentar algún potencial de contaminación (As, Fe, Mn, Pb, Sb, etc.).

En el cuarto capítulo se tratarán los métodos propuestos para la neutralización y/o control del potencial ácido en las muestras seleccionadas describiendo los métodos potencialmente aplicables y luego eligiendo las opciones de tratamiento a través de la adición de sustancias básicas sobre las muestras de relave durante la operación minera. Para el proceso por adición química se describirá el procedimiento realizado a partir de muestras de material neutralizante recolectadas en zonas aledañas a los puntos de medición de relaves, realizando los cálculos para encontrar la cantidad necesaria de carbonatos para neutralizar una tonelada de relave.

En el quinto y último capítulo se analizará todo el proyecto en conjunto. Una vez que se obtuvieron todos los resultados, tanto teóricos como prácticos, y los cálculos necesarios producto de los ensayos realizados a las muestras de relave, se podrán trabajar las conclusiones finales.

En conclusión, el siguiente trabajo determina el potencial que podrían tener diferentes tipos de relave de generar contaminantes ácidos sobre las aguas aledañas a las operaciones mineras en la zona central del Perú (antiguas y/o en actividad), realizando varios

ensayos de laboratorio y tratando de encontrar una metodología que brinde mayor confiabilidad a los resultados tradicionales.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Ubicación Geográfica**

La laguna de Yanamate, se encuentra ubicada a 15 Km. al SE de la ciudad de Cerro de Pasco. Políticamente pertenece al distrito de Simón Bolívar, provincia y región de Pasco. Colinda con dos carreteras una de ellas la principal que es la carretera Central que es la que actualmente se encuentra asfaltada y la otra un camino de herradura. Al contorno de ella están ubicados algunos de los pobladores que se dedican a la actividad ganadera. A una altitud media de 4400 m.s.n.m.; en los límites de inicio de las cabeceras de cuencas de los ríos Mantaro y Huallaga, tiene una cuenca cerrada de 9,7 Km<sup>2</sup>, siendo el área de la laguna 1,2 Km<sup>2</sup> y el nivel de espejo de agua está a una altura de 4353 m.s.n.m. su distancia al río San Juan es de 7 Km, teniendo como límites las siguientes coordenadas en UTM: N 8815733 y E 362940.

#### **2.2.1.1. Subsistema Físico Natural**

##### **A.Climatología**

El área donde se ubica la laguna de Yanamate corresponde a la zona de vida definida como "Páramo Pluvial Sub. Andino

Tropical” de acuerdo al mapa existente para esta zona, según la clasificación de Holdridge.

En esta zona de vida, ubicada por encima de los 4200 msnm, la precipitación total anual varía entre los 1000 y los 2000 mm. El valor de la Temperatura anual promedio se encuentra entre los 3°C y los 6°C, mientras que la evapotranspiración potencial presenta un valor entre el 12.5% y el 25 % de la precipitación.

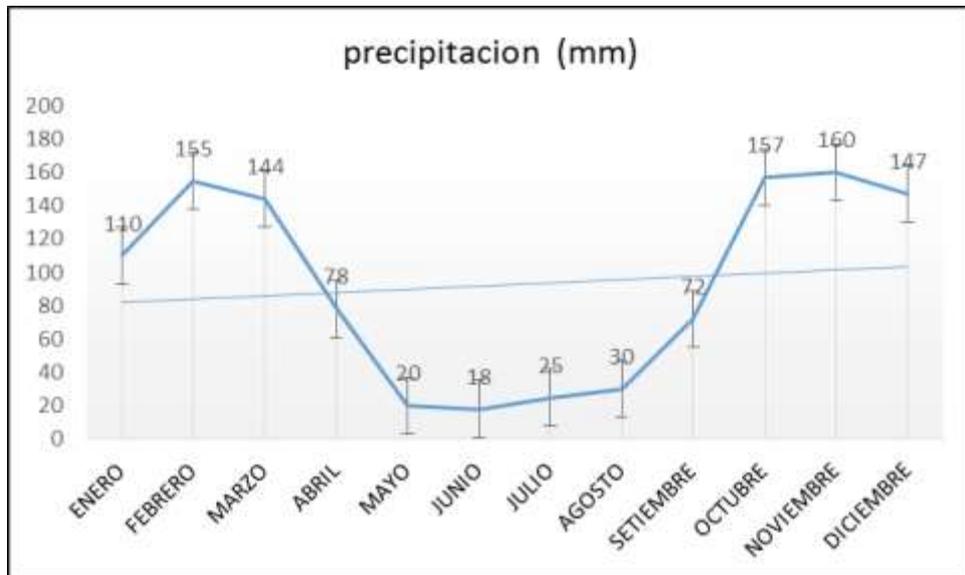
En el siguiente Tabla No. 2, se muestra el resumen de los valores anuales de los parámetros meteorológicos registrados en la Estación Meteorológica de la Escuela de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, correspondientes al año 2017.

**Tabla No. 2: Resumen Anual de Valores Estación Meteorológica**

Año		2017
<b>Precipitación (mm)</b>	Total	1116,00
	Prom. mensual	93,00
	Máx. mensual	160,00
	Min. Mensual	18,00
<b>Evaporación (mm)</b>	Total	457,50
	Prom. mensual	38,12
	Máx. mensual	74,12
	Min. mensual	4,78

<b>Presión Barométrica (milibar)</b>	Prom.	601,95
Humedad Relativa (%)	Prom. mensual	71,83
	Máx. mensual	96,56
	Min. mensual	17,72
<b>Temperatura (°C)</b>	Prom. mensual	5,06
	Máx. mensual	15,38
	Min. mensual	-5,60
Velocidad del Viento (m/s)	Prom. mensual	1,53
	Máx. mensual	6,28
	Min. mensual	0,00
Velocidad Máxima del Viento (m/s)	Prom. mensual	4,18
	Máx. mensual	13,58
	Min. mensual	0,00
Dirección del Viento		E

Fuente: Estación Meteorológica UNDAC.



**Grafico No. 1: Variación De La Precipitación Mensual**

Fuente: Estación Meteorológica UNDAC

## **B. Aspectos geográficos o Litología**

Están asociados al contacto metamórfico regional entre rocas intrusivas y rocas sedimentarias pertenecientes principalmente al grupo Pucará del triásico, jurásico y a la formación Goyllarisquizga del Cretáceo Inferior, en el área afloran secuencias de carbonatos y areniscas pertenecientes al grupo Pucará.

## **C. Estratigrafía**

Se localizan los siguientes grupos o formaciones geológicas:

- Grupo Pucará, son los afloramientos más extensos en el área y está conformada por calizas negras carbonosas, calizas claras dolomíticas, horizontes butiminosos y lutíticos y algunas capas nódulos de Chert o con fósiles.
- Calera está constituida por calizas con nódulos de chert en un 30%, y por lutitas, lodositas, y areniscas en el 70% restante.

## **D. Hidrografía**

La Laguna Yanamate presenta una extensión de cuenca receptora de aguas superficiales igual a 7.2 Km<sup>2</sup>, estando situada a los 76°15' de longitud Oeste y los 10°43' de latitud Sur. Por el Este limita con la cuenca hidrográfica de

río Huallaga, mientras que por el Norte, Sur, y Oeste limita con la cuenca del río San Juan.

Esta laguna constituye una cuenca endorreica (cerrada), debido a que no recibe aportes de agua superficial por un curso definido, ni presenta descarga hídrica hacia algún curso natural también definido, por lo cual se asume que la precipitación pluvial constituye su principal fuente de alimentación.

La laguna de Yanamate comprende la formación de un conjunto de pequeñas fuentes hidrológicas (riachuelos) y afloramiento del agua proveniente de la napa freática ha elevaciones entre los 4300 y 4400 m.s.n.m.

La Laguna de Yanamate tiene tres períodos de caudal: período de crecida entre octubre y mayo, período transitorio en el mes de junio y el período de estiaje entre julio y septiembre. La Laguna de Yanamate ha cambiado en cuanto se refiere a la calidad de agua debido a las diversas fuentes de contaminantes que llegan a ella.

El impacto de las aguas ácidas sobre el componente hidrográfico de la laguna de Yanamate no se conoce con exactitud. Ya que Yanamate es una laguna cerrada y está despoblada en sus alrededores; posiblemente esté filtrando

por fracturas y fallas, no conociéndose con exactitud hacia donde se produce el desfogue de las aguas.

#### **E. Hidrometría**

Para conocer el comportamiento plurianual de los niveles de la laguna, se ha utilizado el mes de Octubre de todos los años de registro, como indicador que permita evaluarla fluctuación de dichos niveles. En el siguiente Tabla No. 2 se muestran dichas mediciones.

**Tabla No. 2: Altura del Niveles de Agua Superficial de la Laguna Yanamate**

<b>AÑOS</b>	<b>ELEVACION (m.s.n.m.)</b>
1982	4349.09
1983	Sin datos
1984	4356.08
1985	4350.53
1986	4356.80
1987	4355.94
1988	4355.05
1989	4354.37
1990	4353.13
1991	4352.63
1992	4350.65
1993	4349.47
1994	4352.78
1995	4352.57
1996	4354.05
1997	4354.85
1998	4356.15
1999	4357.68
2000	4358.23
2001	4358.93
2002	4358.66
2003	4358.80
2004	4357.38
2005	4356.53
2017	4315.00

**FUENTE:** Volcán S.A.A. Dato de la Tesista del año 2017

En el grafico No. 2, se muestra la fluctuación del nivel del espejo del agua de la Laguna Yanamate a través de los años, registrándose un comportamiento donde se advierte un continuo descenso desde el año 1986 hasta el año 1992, en el orden de los 6 metros. Mientras que durante los años 1994 a 1998, se advierte un incremento continuo del nivel de la superficie de la Laguna, de aproximadamente 4 metros. En los actuales mediciones del 2017, se muestra una altura de 4315 m.s.n.m.

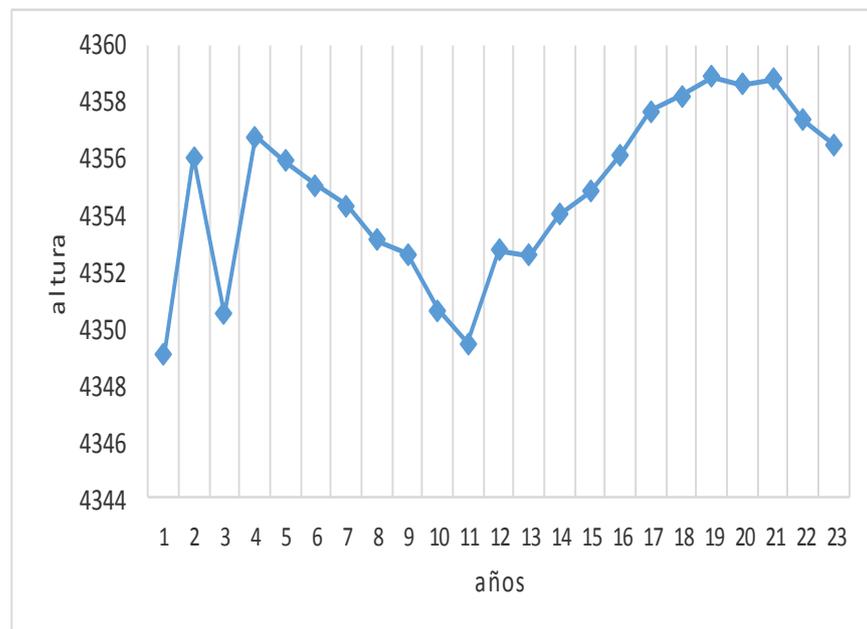


Grafico No. 2: Niveles del espejo de agua de la Laguna Yanamate.

Fotografía No. 1: Se aprecia la Laguna de Yanamate en la actualidad ha perdido el nivel de espejo de agua



## **F. Vegetación**

La vegetación dominante son hiervas arrosetadas o de porte almohadillado y algunos arbustos de porte bajo o arboreos adaptados

Muchas de las especies vegetativas han adaptado sus organismos y han evolucionado formas vegetativas para poder sobrevivir y reproducirse en condiciones climáticas como baja presión atmosférica, alta radiación ultravioleta, alto rango de variación de la temperatura (frecuentes heladas sobre todo en las noches.

**Tabla No. 3: Variedad de plantas encontradas alrededor de la Laguna de Yanamate**

<b>NOMBRE COMUN</b>	<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>	<b>FAMILIA</b>
Crespillo	Camalagrostis vicunorum	POACEAE
Chichicara	Lepidium chichicari	BRASICACEAE
Escorzonera	Pericia multiflora	ASTERACEAE
Gramma común	Leptochloa unineryia	POACEAE
Ichu	Stipa ichu	POACEAE
Ortiga	Urtica dioica	URTICACEAE

### **G. Fauna**

En el área de influencia se aprecia pocas especies de fauna silvestre, la que comprenden aves y ciertos auquénidos.

Para el caso de las aves, cuya presencia está en estrecha relación a los cuerpos de agua, se ha observado que cuando la contaminación del agua es a un nivel elevado, principalmente por afluentes ácidos, como en el caso de la laguna de Yanamate, la presencia de avifauna es nula.

Respecto a los auquénidos, en los alrededores de la laguna de Yanamate, se ha encontrado pequeñas cuadrillas de llamas, alpacas, ovejas y otros, de propiedad de la comunidad de Quiulacocha.

**Tabla No. 4: Algunas Especies de Fauna Silvestre y Domestica  
Encontradas**

<b>AVES</b> Pito acagallo Pituchanca
<b>MAMÍFEROS</b> Ovino (Ovis aries) Llamas ( Lama glama) Alpaca (Vicugna pacos)

#### **H. Paisaje**

El paisaje ha sido alterado debido a las aguas ácidas que no dejan el desarrollo y la supervivencia de toda forma de vida acuática y hace que las aves que habitaban el lugar mueran o migren a otros lugares. Además a ello el suelo se encuentra totalmente erosionado y con muy poca cobertura vegetal, incrementándose está perdida en la época de lluvias cuando el caudal se incrementa.

Además de esto el olor y el color del agua, produce un rechazo a la percepción del hombre, quien lo único que hace es alejarse y evitar hacer uso de estos recursos.

#### **2.2.2. Problema de la Contaminación del Agua de la Laguna Yanamate**

La laguna de Yanamate, esta ubica a 4358,4 m.s.n.m. Es usada desde 1981 para el vertimiento de aguas acidas de la unidad minera Centromin Perú, de Cerro de Pasco, en la

actualidad la empresa minera Cerro S.A.C. luego de que el agua se ha generado producto de las operaciones mineras que actualmente cuenta para la recuperación de los metales como cobre, plomo y zinc.

El agua acida que se vierte a la Laguna Yanamate, tiene una alta concentración de ácido y con presencia de hierro, plomo, zinc, cobre, etc., esto sucede debido al contacto que se ocasiona entre el mineral, el agua y el oxígeno, que son componentes básicos para que ocurra la generación del agua acida y un medio para que disuelva y obtenga una alta presencia de metales pesados.

**Fotografía No. 2: La presencia de agua acida de un color rojizo el cual muestra altas concentraciones de hierro.**



En el presente estudio se hace uso del método activo al emplear la cal para lograr la neutralización de las aguas acidas, con la finalidad de tratar el agua de la Laguna Yanamate, para ello se realizaron tres (3) pruebas experimentales a pH aproximadamente 8,00; 9,00 y 10,00; se realiza en el experimento una mezcla mediante el uso de una agitación manual para así poder analizar los resultados de los parámetros físicos y químicos que suceden en las muestras de agua recogida de la laguna de Yanamate.

**Fotografía No. 3: Lugar de ingreso del vertimiento de agua acida a la laguna Yanamate**



El tratamiento Activo es un proceso fisicoquímico para aguas con concentraciones de contenido de ácido y metales disueltos, el cual consiste en que las aguas residuales industriales se mezclan con la cal para lograr una rápida neutralización y floculación; para nuestro estudio se añade la cal hidratada que contiene un 60 a 70 % de óxido de calcio y otras impurezas, que son necesarios para producir una coagulación química y floculación masiva. Este proceso de coagulación y floculación masiva se aplica para precipitar los iones de naturaleza metálica en suspendidos en el agua. Comúnmente el agua contiene sólidos suspendidos por la naturaleza de su tamaño se precipitan sin necesidad de agregar algún otro producto para la floculación o coagulación.

Adicionalmente, una gran parte de los sólidos disueltos y en suspendidos se pueden encontrar dispersos y no se precipitarían con facilidad, y la otra parte pueden estar formando coloides. Estos coloides son partículas que se encuentran estabilizadas por cargas eléctricas negativas sobre su superficie, lo que provoca que se repelan las demás partículas suspendidas de igual condición, lo que no permite que se formen masas mayores que tengan el peso suficiente para precipitarse. La coagulación con cal desestabiliza estos coloides al neutralizar las fuerzas que los mantiene separados y formar flóculos más grandes y pesados. La cal se

aplica en forma de óxido de calcio comúnmente para alcanzar máxima absorción de impurezas en el proceso de floculación.

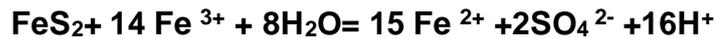
Este tratamiento se puede aplicar en una sola etapa en donde se efectúe la mezcla rápida de agua residual industrial cruda con una lechada de cal, empleándose para tal efecto el mismo cauce del canal de ingreso del agua a la laguna Yanamate, obteniéndose una floculación, la cual se sedimenta para separar los lodos y el líquido. En esta etapa es muy importante la calidad del mezclado, ya que, para destruir la estabilidad del sistema coloidal, las partículas se deben aglomerar y esto se consigue al hacerlas chocar con el mezclado. El punto óptimo se debe de encontrar entre un mezclado de gran intensidad que promueva las colisiones rápidas y al mismo tiempo, que no sea demasiado intenso como para que provoque el rompimiento de los flóculos, ya que éstos difícilmente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. Se recomienda que la agitación intensa dure pocos minutos y de esta forma pase al área de la laguna para lograr la sedimentación donde se realice la separación de los contaminantes.

### **2.3. Procesos Químicos de Formación del Aguas Acidas**

La generación de agua acida se da mediante:



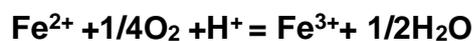
Por lo general los drenajes ácidos de mina (DAM) son producto de la oxidación de la pirita, que en contacto con la atmosfera y presencia de agua genera acidez.



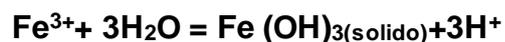
Liberando sulfatos y Fe, junto con otros elementos como As, Cd, Co, Ni, Pb, Cr, etc., que en mayor o menor proporción forman parte de la pirita, produciendo un lixiviado toxico.

Los productos de la oxidación de la pirita son el  $\text{Fe}^{2+}$  disuelto, sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y protones ( $\text{H}^+$ , ion acido), que es la medida de la acidez generada.

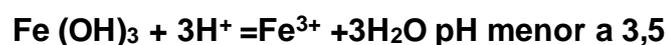
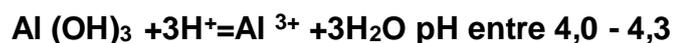
En presencia de suficiente oxidante, ocurre la siguiente reacción:



Si las condiciones de acidez de un agua acida varían a más 3,5 de PH se precipita el hidróxido férrico, que es de color amarillo-café.



En un proceso de neutralización cuando los carbonatos se agotan, el consumo de acidez se da a través de algunos hidróxidos metálicos como  $\text{Al}(\text{OH})_3$  y el  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , de acuerdo a las siguientes reacciones.



### **A. La cal (también llamada cal viva)**

Es un término que designa todas las formas físicas en las que puede aparecer el óxido de calcio (CaO). Se obtiene como resultado de la calcinación de las rocas calizas o dolomías.

La cal se ha usado desde la más remota antigüedad como conglomerante en la construcción, también para pintar muros y fachadas de los edificios construidos con adobes o tapial —típico en las antiguas viviendas mediterráneas— o en la fabricación de fuego.

### **B. Oxido de Calcio**

El óxido de calcio es un producto alcalino que permite regular multitud de procesos industriales y sus propiedades dependen principalmente de su composición química y del tratamiento térmico al que ha sido sometido el mineral, determinando su grado de reactividad. De color blanco, que al contacto con el agua se hidrata o se apaga, con desprendimiento de calor. A su vez es un producto altamente cáustico con un pH básico y que forma hidróxido en contacto con el agua, cabe remarcar que los hidróxidos (OH<sup>-</sup>) tienen afinidad por los ácidos (H<sup>+</sup>) para formar agua; como se muestra en la siguiente reacción:

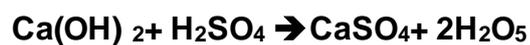


Los procesos de neutralización de agua acida con cal hidratada (CaO) es comúnmente usadas por las empresas mineras para alcanzar

máxima absorción de impurezas en el proceso de floculación ya que demanda de bajos costos, generando un ambiente de baja contaminación. Ya que los drenajes ácidos de mina hoy en día se han vuelto un gran problema ambiental si no se hace un tratamiento adecuado.

El pH adecuado para un excelente tratamiento de estas aguas es de 9 a 10, ya que a este pH se produce la máxima reacción de metales pesados entre ellos los metales más difíciles de precipitar como el cromo, zinc y plomo; haciendo que estos se conviertan en sólidos para luego poder sedimentar y tener un agua mucho más claro y con poca presencia de metales pesados.

La reacción química que se produce usando el método de neutralización con cal es la siguiente:



Durante el proceso de alcalinización de aguas ácidas se observará la variación de color debido a que los metales a medida que se incrementa el pH comienzan a volverse sólidos, cuanto más sea el pH más oscuro será el color la muestra. Además, el uso del floculante es necesario en el proceso de sedimentación ya que es una sustancia

química comúnmente orgánica que conglomeran sólidos en suspensión una vez efectuada su coagulación, provocando su precipitación.

#### 2.4. Tipos de Precipitación:

**A. Precipitación Con Sulfuro:** Como agente precipitante se puede emplear sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S), sulfhidratado de sodio, ácido sulfúrico, e incluso generación microbiana de estos compuestos.



Se aplica a iones tales como , Hg, Cu, Pb, Cd, Sn, Zn, Co y Ni.

**B. Precipitación por Cementación:** Como precipitante se emplea Fe y Zn (granallas, viruta metálica o simplemente chatarra):



Se aplica a iones tales como , Ag, Pd, Pt, Cu, Co, Ni y Cd.

**C. Precipitación por Carbonatos:** Como precipitante se emplea CO<sub>2</sub>, como se muestra en la siguiente reacción química:



Es aplicable a varios metales.

**D. Precipitación por Reducción con SO<sub>2</sub>**



Es aplicable a Cu, Au y Se.

## **2.5. Definición de términos básicos**

### **A. Agua Acida**

Agua que contiene una cantidad de sustancias ácidas que hacen al pH estar por debajo de 7,0.

### **B. Conductividad Eléctrica (CE)**

La conductividad de una muestra de agua es una medida de la capacidad que tiene la solución para transmitir corriente eléctrica.

Este parámetro tiene relación con la existencia de iones disueltos en el agua, que son partículas con cargas eléctricas. Cuanto mayor sea la concentración de iones disueltos, mayor será la conductividad eléctrica en el agua. En las aguas continentales, los iones que son directamente responsables de los valores de la conductividad son, entre otros, el calcio, el magnesio, el potasio, el sodio, los carbonatos, los sulfatos y los cloratos.

### **C. Sólidos Suspendidos**

Son aquellas partículas visibles y flotan en las aguas residuales industriales entre superficie y fondo. Pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de procesos de filtración o de sedimentación. Los sólidos suspendidos totales son la porción de

los sólidos totales retenidos en un filtro con tamaño de poro especificado (1.58  $\mu\text{m}$  en filtro Whatman de fibra de vidrio).

Los sólidos suspendidos se dividen a su vez en dos grupos: sedimentables y coloidales. La parte de sólidos en suspensión que por tamaño y peso pueden sedimentar al lapso de una hora en el cono Imhoff, se denominan sedimentables. A la diferencia entre sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales se le denomina coloidales.

#### **D. Contaminantes Prioritarios**

Son los compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados si se sospecha o conoce su carcinogenicidad, habilidad para causar mutaciones o alteraciones en las células, así como una elevada toxicidad.

#### **E. Efluentes Industriales**

El agua es un líquido compuesto por hidrógeno y oxígeno, de gran importancia para muchos aspectos de la vida humana. Conocer el origen de los efluentes es importante para tener idea de a qué nos estamos enfrentando. Ya que esto puede llevar consigo procesos químicos y físicos con los que hay que lidiar. En este sentido, es importante el conocimiento sobre efluentes industriales definición para saber cómo tratar estos casos, los cuales pueden requerir un sistema especializado para su tratamiento de purificación.

## **F. Metales Pesados**

El término metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tiene una densidad relativamente alta y es tóxico o venenoso en concentraciones bajas.

Los metales pesados son componentes naturales de la corteza terrestre. No pueden ser degradados o destruidos. Para una pequeña medida en que entran en nuestros cuerpos a través de los alimentos, el agua potable y el aire. Algunos metales pesados (por ejemplo, cobre, selenio, zinc) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, a concentraciones más altas pueden conducir a la intoxicación. El envenenamiento por metal pesado podría resultar, por ejemplo, de la contaminación del agua de consumo (tuberías de plomo), las concentraciones en el aire ambiente de alta cerca de las fuentes de emisión, o la ingesta a través de la cadena alimentaria.

Proviene por lo general de las descargas industriales y deben ser removidas completamente del agua en caso de que ésta se vaya a reutilizar.

## **G. Materia Inorgánica Disuelta**

Los constituyentes inorgánicos como el calcio, el sodio y sulfato los cuales provienen de las descargas domésticas e industriales.

Siendo importante obtener un análisis químico completo de la mayoría de las aguas residuales se han ideado métodos empíricos para evaluar la concentración de contaminantes.

## **H. Métodos analíticos**

El análisis para caracterizar el agua varía de determinación química precisa a la determinación más cualitativa física y biológica. Los métodos cualitativos de análisis pueden ser gravimétricos, volumétricos o fisicoquímicos (turbiedad, colorimetría, espectrometría de absorción y radiación nuclear representan análisis fisicoquímicos). Los detalles acerca de cada análisis pueden buscarse en el Standard Methods, referencia aceptada para conducir análisis de agua.

## **I. pH**

El pH es una de las pruebas más comunes para conocer parte de la calidad del agua. El pH indica la acidez o alcalinidad, en este caso de un líquido como es el agua, pero es en realidad una medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno ( $H^+$ ). Las mediciones de pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, con 7.0 considerado neutro. Las soluciones con un pH inferior a 7.0 se consideran ácidos. Las soluciones con un pH por encima de 7.0, hasta 14.0 se consideran bases o alcalinos. Todos los organismos

están sujetos a la cantidad de acidez del agua y funcionan mejor dentro de un rango determinado.

La escala de pH es logarítmica, por lo que cada cambio de la unidad del pH en realidad representa un cambio de diez veces en la acidez. En otras palabras, pH 6.0 es diez veces más ácido que el pH 7.0; pH 5 es cien veces más ácido que el pH 7.0.

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.1 Diseño de investigación**

El diseño que se utilizará para la remediación de las aguas de la Laguna de Yanamate, al emplear el método activo y la fitorremediación, es el Diseño Experimental Directo.

**X     o     Y**

Dónde:     **X**     (trabajo experimenta - monitoreo)

**o**     (la conexión para el trabajo de investigación)

**Y**     (evaluación de los resultados)

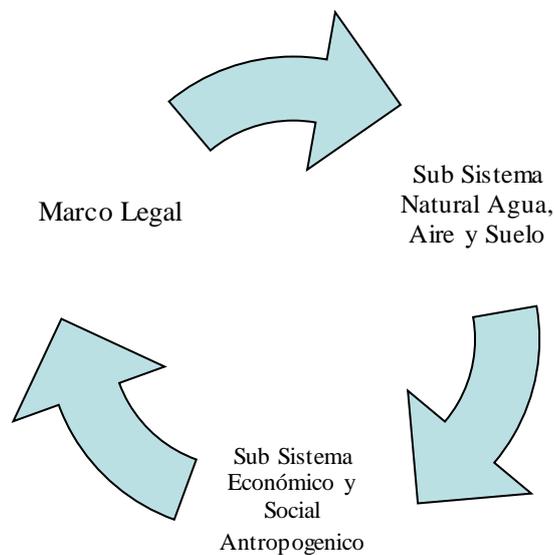
En esta investigación es contribuir con una propuesta de mejorar las condiciones ambientales de la laguna Yanamate, con respecto al problema de vertimiento de aguas acida y la presencia de la concentración de metales en el agua como: Hierro, Plomo, Cobre, Zinc y otros.

Para los resultados se tomara en cuenta la calidad del agua de la hidrología de la Laguna Yanamate. Se compara con estándares de calidad ambiental agua (ECAs) nacionales D.S. No. 015-2015-MINAM, la

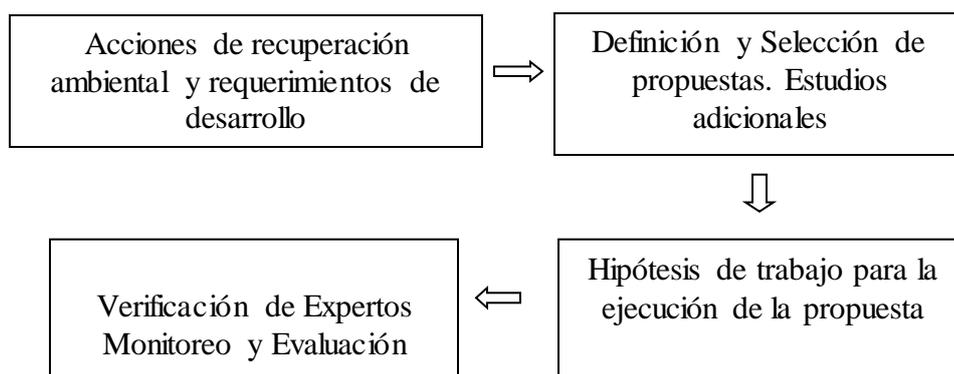
metodología que vamos a utilizar para sustentar determinadas hipótesis anteriormente señaladas.

Esquema metodológico aplicado al estudio de la contaminación de la Laguna Yanamate.

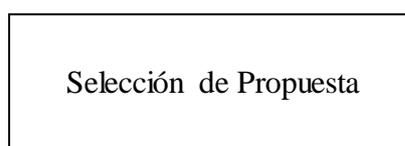
### A. Análisis Ambiental



### B. Propuesta de Recuperación:



### C. Aplicación



### **3.2 Población y muestra**

#### **A. La población**

Esta dada por las aguas industriales que se vierten a la laguna Yanamate, que se encuentra ubicada en el distrito de Simón Bolívar en la Provincia y Región de Pasco,

#### **B. La muestra**

La muestra corresponderá a 50 litros de agua Laguna de Yanamate. Para seleccionar los puntos de análisis se ha considerado hacer un Muestreo probabilístico de tipo Intencionado; tomando 3 puntos y haciendo el monitoreo de cada uno de ellos por espacio de 3 meses de acuerdo al cronograma de actividades.

### **3.3 Método de la Investigación**

Los métodos que se emplearán en la Investigación será **el inductivo – deductivo**, para identificar los impactos ambientales que genera la contaminación de las aguas acidas en la laguna Yanamate, **el analítico** para su evaluación y el **experimental** porque se hará una evaluación de la calidad del agua en el proceso de tratamiento del método activo con cal y la fitorremediación con el empleo de plantas en los humedales construidos en el Laboratorio.

El nivel de investigación: será de tercer nivel, por ser exploratoria, descriptiva, explicativa y a la vez correlacional.

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

#### **A. La observación**

Se emplea la observación estructurada, para manipular los hechos que se observen, del mismo modo el trabajo requiere realizar una revisión documental, que está centrado en la revisión de libros, revistas y otros documentos que tengan relación con nuestra investigación. También, utilizamos las informaciones obtenidas a través del Internet.

#### **B. Fichaje**

Se utiliza el fichaje bibliográfico, para anotar los datos de los libros que se utilizan en la investigación. Además las fichas de transcripción textual, transcribiendo entre comillas al pie de la letra el contenido científico.

### **3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

#### **A. Para la variable independiente**

Empleamos el escalamiento de Likert, para tener en cuenta los límites de los parámetros de los Estándar de Calidad Ambiental agua (ECAs Agua), con respecto a las concentraciones de los elementos contaminantes que se vienen dando en la Laguna Yanamate, y de esta forma lograr la interpretación.

## **B. Para la variable dependiente:**

Se formula la construcción de la idea del proyecto del tratamiento del agua industrial que se vierte a la laguna Yanamate, y se realiza las pruebas a nivel de Laboratorio con el fin de identificar y evaluar la mejor propuesta que nos permita remediar la calidad de sus aguas.

### **3.6 Tratamiento estadístico**

Los datos numéricos se procesarán agrupándolos en intervalos y se tabularán. Luego se construyeran con ellos cuadros estadísticos, calculándose además las medidas de tendencia central, de dispersión o de correlación que resulten necesarias. De allí en adelante se trabajarán al igual que los otros datos numéricos, mediante la tabulación y el procesamiento en cuadros estadísticos.

### **3.7. Hipótesis:**

#### **3.7.1. Hipótesis General**

El empleo del método activo y la fitorremediación, es la alternativa para descontaminar las aguas de la laguna Yanamate, con la finalidad de cumplir el D.S. No. 015-2015-MINAM.

#### **3.7.2. Hipótesis Específicos**

- A. Se lograra identificar y describir los parámetros fisicoquímicos que se logran controlar y de esta forma tratar las aguas de la Laguna de Yanamate
- B. Es posible emplear el método activo y la fitorremediación para el tratamiento del agua de la Laguna Yanamate, con el fin de mejorar la calidad y devolverle la vida a este Ecosistema contaminado.

### **3.8 Variables**

#### **3.8.1 Variable Independiente**

Calidad del Aguas de la laguna de Yanamate D.S. 015-2015-MINAM.

#### **3.8.2 Variable Dependiente**

Propuesta de remediación y sostenibilidad del agua de la laguna de Yanamate.

#### **3.8.3 Variable Concurrente**

- Contaminantes de las aguas de la Laguna de la Yanamate.
- Elementos físicos, químicos y biológicos del agua

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

#### **4.1. TRATAMIENTO ESTADISTICO E INTERPRETACION DE CUADROS**

La laguna Yanamate en la actualidad actúa como un gran medio para neutralizar las aguas ácidas proveniente de las operaciones mineras que realiza la empresa minera Cerro S.A.C. por tener un suelo rico en calizas, sin embargo uno de los mayores problemas es no saber exactamente cuál será el futuro de la laguna Yanamate frente a la solución al problema de recepción de esta agua acidas.

La laguna presenta una variada coloración en el suelo y el agua, producto de la presencia de contenidos de diferentes metales como: hierro, cobre, zinc, plomo, y otros, que están disueltos en las aguas acidas. Estas también vienen afectando a la vegetación gramínea circundante, constituida por pastos de tallo corto y raíces superficiales, ya que en un área de 50 metros alrededor de la laguna no hay presencia de la misma o esta se encuentra en escaso nivel de desarrollo.

Para la realización del presente trabajo de investigación se experimentó la neutralización del agua acida que viene siendo vertida, para lo cual se utilizaron tres recipientes de capacidad de aproximadamente 16 litros, y

una muestra en cada una de ellas equivalente a 8 L, en donde se procedió a mezclar la cal con el agua acida, hasta lograr una neutralización y una alcalinización del agua, para ello se empleó óxido de calcio (CaO) con 80% de pureza. Este método de tratamiento se denomina método activo.

#### **4.1.1. Aplicación del Método Activo (Cal) para la Neutralización del Agua Acida.**

##### **A. CELDA 1– pH 8,00**

La muestra de agua acida de la laguna de Yanamate, fue vertido a un recipiente de vidrio en donde se midió previamente el pH de 1,55 y el reporte de la temperatura fue de 11,16 °C; luego se procede a adicionar cal hidratada y se eleva el pH de la muestra de agua hasta alcanzar un pH de 8,00 aproximadamente, para luego lograr una neutralización y una ligera alcalinidad, para más adelante poder mejorar la calidad de esta agua, Con esto también se consigue la precipitación de gran parte de los metales disueltos como Hierro, Cobre y Cromo en el agua.

Para esta primera evaluación se empleó 110 g de óxido de calcio (CaO), llegando así la muestra de agua a un pH de 8,00, la temperatura medida fue de 13,3 °C. La relación que

se tomó para la neutralización de esta agua, es la que se muestra en la tabla siguiente.

**Tabla No. 5: Resultado muestra la relación peso de la cal en las Pruebas a Un pH de 8,00**

N° Etapas	Peso de CaO	Variación de pH	Temperatura
INICIO	0	1,55	11,16
1	20	2,15	11,8
2	40	3,10	12,2
3	60	4,37	12,6
4	80	5,38	12,9
5	100	6,09	13,2
6	105	6,27	13,2
7	110	8,00	13,3

Al lograr estabilizar este proceso y mejorar la velocidad de sedimentación se añadió 2 g de floculante para lograr la sedimentación de los sólidos en suspensión, producidos en la reacción.

Para el cual se inició a las 03:36 p.m. del día 05 de octubre del 2017, y a partir de ese momento se controló el nivel del agua cada 2 minutos para determinar el tiempo requerido para la precipitación de los sólidos en suspensión según esta desciende por en periodo de 10 minutos.

En la siguiente Tabla No. 6, Se aprecia el comportamiento del agua tratada en las 24 horas, se volvió a medir el pH y nos dio una lectura de un pH 7,70 y una temperatura había descendido a de 10,8 °C; también se midió la altura de la sedimentación.

**Tabla No. 6: Resultado muestra el tiempo, altura y volumen de la sedimentación en las Pruebas a Un pH de 8,00**

N°	HORA	ALTURA DEL SEDIMENTACION	VOLUMEN EN LITROS	VOLUMEN DE AGUA LIMPIA
INICIO	03:36:00 a.m.	14	8.75	0
1	03:38:00 p.m.	10.6	6.625	2.125
2	04:40:00 p.m.	7.5	4.6875	4.0625
3	04:42:00 p.m.	5.6	3.5	5.25
4	04:44:00 p.m.	4.3	2.6875	6.0625
5	04:46:00 p.m.	3.6	2.25	6.5
6	04:48:00 p.m.	3.3	2.0625	6.6875
7	24h	2.4	1.5	7.25

### **B. CELDA 2 – pH 9,02**

Para la realización de la siguiente prueba la muestra de agua de la laguna de Yanamate, ingreso con un pH de 1,55 a una temperatura de 11,16 °C; el objetivo es lograr un pH cercano a 9,00. Se utilizó 120 g de óxido de calcio, alcanzado así un pH de 9,04 y una temperatura de 13,3 °C, la relación tomada mostraremos en la siguiente tabla.

**Tabla No. 7: Resultado muestra la relación peso de la cal en las Pruebas a Un pH de 9,00**

Nº Procesos	Peso de CaO	Variación de pH	Temperatura
INICIO	0	1,55	11,2
1	20	2,08	11,7
2	40	3,12	12,2
3	60	4,46	12,5
4	80	5,50	12,8
5	100	6,11	13
6	120	9,04	13,3

Para acelerar la prueba de sedimentación se realizó al añadir 2 g de floculante para acelerar la reacción generada y lograr un mejor sedimento.

El inicio de la prueba de sedimentación a las 03:36 p.m. del día 05 de octubre del 2017, y a partir de ese momento se controló cada 2 minutos para poder medir las alturas de desplazamiento de la precipitación, se pudo notar que desciende rápidamente por un periodo aproximado de 10 minutos. Así mismo después de transcurrido las 24 horas se volvió a medir el pH y se notó que había descendido a un pH 8,40 y lo mismo había ocurrido con respecto a la temperatura a 10,8°C; se midió las alturas de la sedimentación con respecto al tiempo; el cual se muestra en el cuadro siguiente.

**Tabla No. 8: Resultado muestra el tiempo, altura y volumen de la sedimentación en las Pruebas a Un pH de 9,00**

Nº	HORA	ALTURA DEL SEDIMENTACION	VOLUMEN EN LITROS
INICIO	03:36:00 a.m.	13,8	8,625
1	03:38:00 p.m.	7,3	4,5625
2	04:40:00 p.m.	6,2	3,875
3	04:42:00 p.m.	5,5	3,4375
4	04:44:00 p.m.	4,3	2,6875
5	04:46:00 p.m.	3,8	2,375
6	24 h	3,0	1,875

**C.CELDA 3 (ALCALINO) – pH 10,02**

En este recipiente se deseó elevar el pH a 10,02, para ello se utilizó 127 g de óxido de calcio ya que nuestra muestra ingreso con un pH de 1,55 a una temperatura de 11,16 °C, y al final del proceso de agitación manual alcanzo un pH de 10,02 a una temperatura de 13,2 °C. La relación que se utilizó es la que se muestra en la tabla.

**Tabla No. 9: Resultado muestra la relación peso de la cal en las Pruebas a Un pH de 10,02**

Nº Procesos	Peso de CaO	Variación de pH	Temperatura
INICIO	0	1.55	11.2
1	20	2.12	11.8
2	40	3.14	12.2
3	60	4.47	12.6
4	80	5.50	12.8
5	100	6.22	13.1
6	120	8.26	13.4
7	127	10.02	13.2

Para acelerar la velocidad de sedimentación se añadió 2g de floculante al haber logrado el pH deseado.

Para esta prueba de la precipitación se comenzó a 03:36 del día 05 de Octubre, y a partir de ese momento se controló cada 2 minutos para poder medir las alturas de formación del precipitado según este desciende por en periodo de 10 min.

Así mismo también se midió el pH después de 24 horas, en donde se notó que el descenso del pH de 9,02 y una temperatura de 10,9 °C; como también se midió la altura del precipitado, en el siguiente cuadro se detalla los datos obtenidos.

**Tabla No. 10: Resultado muestra el tiempo, altura y volumen de la sedimentación en las Pruebas a Un pH de 10,02**

Nº	HORA	ALTURA DEL PRECIPITADO	VOLUMEN EN LITROS
INICIO	03:36:00 p.m.	14	8.75
1	04:36:00 p.m.	8	5
2	05:36:00 p.m.	7.2	4.5
3	06:36:00 p.m.	6.9	4.3125
4	07:36:00 p.m.	6.4	4

#### **4.1.2. Estudio del Comportamiento de los Metales Disueltos en el Tratamiento del agua acida con cal, en la Laguna Yanamate.**

Para ver el comportamiento en cuanto al contenido de metales disueltos en el agua se realizó varios monitoreo, para el presente estudio se realizó entre los meses de marzo a agosto, cuyos

resultados se muestran en los Gráficos 3, 4 y 5, que a continuación se detallan.

### A. Hierro

El cuanto al contenido de hierro en los monitoreo realizados al agua de la laguna Yanamate, el valor máximos de la concentración fue en el mes de mayo del 2017, de 3767,00 mg/L y valor mínimo en el mes de agosto de 3301,00 mg/L, Con respecto a la comparación realiza en este parámetro en el valor ECA de agua del 2015, el cual no contempla un valor Límite.

También, debemos manifestar que el hierro es un elemento químico que no genera perturbación e impactos significativos al ambiente.

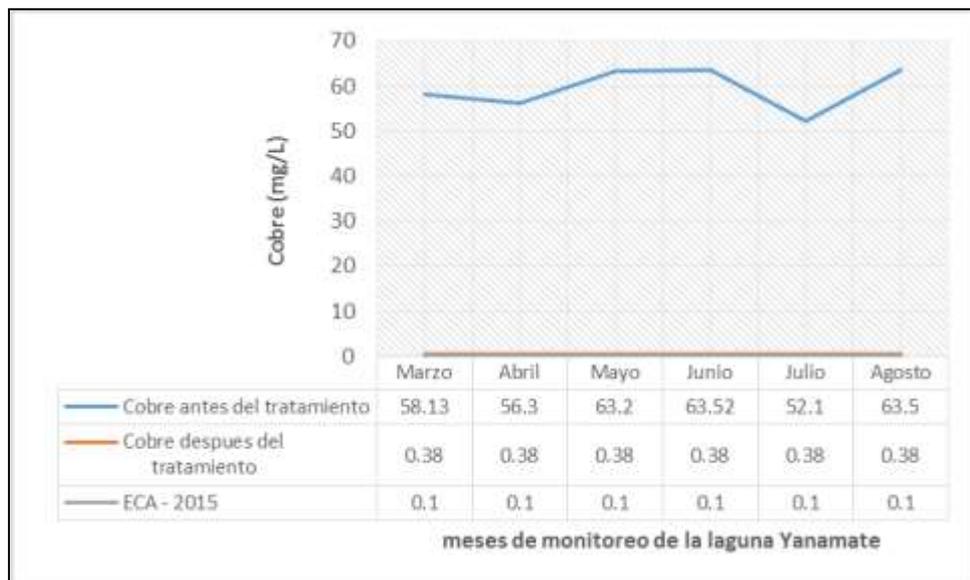
**Grafico No.3: Resultados del monitoreo de la concentración de Hierro en el agua de la Laguna Yanamate**



## B. Cobre

El cuanto al contenido de cobre en los monitoreo realizados al agua de la laguna Yanamate, el valor máximos de la concentración fue en el mes de mayo del 2017, de 63,52 mg/L y valor mínimo en el mes de agosto de 52,1 mg/L, Con respecto a este parámetro en el valor ECA de agua del 2015, el valor límite que se tiene 0,1 mg/L, con el tratamiento del método activo no se logra alcanzar este Límite, por lo que es necesario e importante emplear la fitorremediacion para lograr llegar a los limites propuestos por el ECA del 2015 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

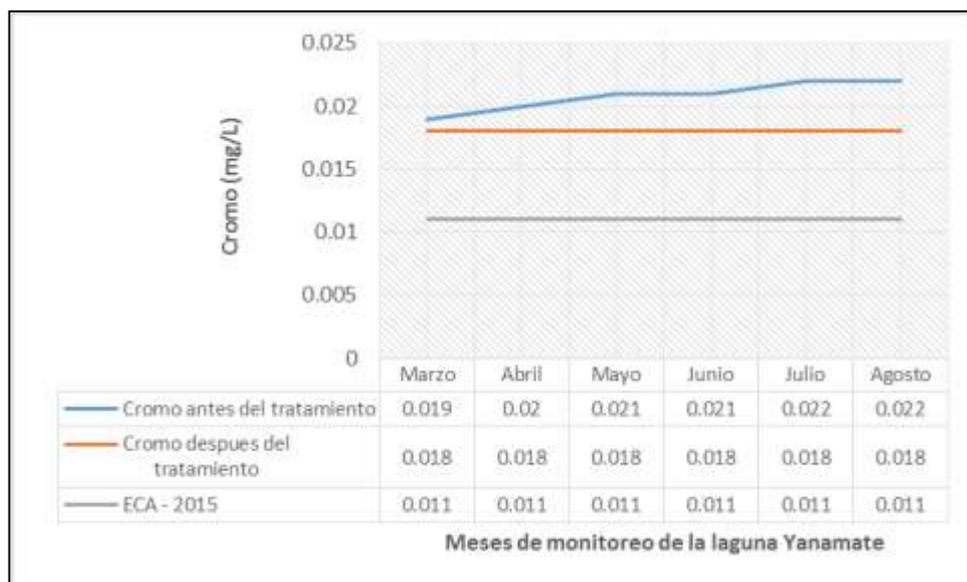
**Grafico No.4: Resultados del monitoreo de la concentración de Cobre en el agua de la Laguna Yanamate**



### C. Cromo VI

El cuanto al contenido de cromo VI en los monitoreo realizados al agua de la laguna Yanamate, el valor máximos de la concentración fue en el mes de mayo del 2017, de 0,022 mg/L y valor mínimo en el mes de agosto de 0,021 mg/L, Con respecto a este parámetro en el valor ECA de agua del 2015, el valor límite que se tiene 0,011 mg/L, con el tratamiento del método activo no se logra alcanzar este Límite, por lo que es necesario e importante emplear la fitorremediación para lograr llegar a los limites propuestos por el ECA del 2015 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

**Grafico No. 5: Resultados del monitoreo de la concentración de Cromo VI en el agua de la Laguna Yanamate**



#### **4.1.3. Empleo de la Tecnología de la Fitorremediación Después del Tratamiento del Agua Acida con Cal.**

Para el experimento de las pruebas de fitorremediación, se empleó la Totorá una planta de fácil adaptación y por sus propiedades de ser acumuladora de metales y por las características que esta presenta en el tratamiento de aguas de la laguna Yanamate, se requiere la remoción de los metales tal como Hierro, Cobre y Cromo VI.

La concentración de los metales que contiene el agua de la Laguna de Yanamate, después de las pruebas realizadas con el empleo del método activo con cal todavía son considerables en cuanto al contenido de Hierro, Cobre y Cromo IV, por lo que es importante lograr ser reducidos y darles el tratamiento hasta lograr los parámetros de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de agua del D.S. 015-2015-MINAM

**Tabla No.9: Análisis de Concentración de Hierro antes y después del tratamiento con la Totorá en el Agua de Yanamate**

<b>Muestras</b>	<b>Antes mg/l</b>	<b>Después mg/l</b>	<b>% REMOCIÓN</b>
Muestra 1	0.78	0.73	6.41025641
Muestra 2	0.91	0.83	8.791208791
Muestra 3	0.82	0.75	8.536585366
ECA-2015	N.A.	N.A.	

**Tabla No. 10: Análisis de Concentración Cobre antes y después del tratamiento con la Totora en el Agua de Yanamate**

<b>Muestras</b>	<b>Antes mg/l</b>	<b>Después mg/l</b>	<b>% REMOCIÓN</b>
Muestra 1	0.28	0.26	7.142857143
Muestra 2	0.38	0.34	10.52631579
Muestra 3	0.32	0.3	6.25
ECA-2015	0.1	0.1	--

**Tabla No.11: Análisis de Concentración de Cromo antes y después del tratamiento con la Totora en el Agua de Yanamate**

<b>Muestras</b>	<b>Antes mg/l</b>	<b>Después mg/l</b>	<b>% REMOCIÓN</b>
Muestra 1	0.012	0.011	8.333333333
Muestra 2	0.018	0.016	11.11111111
Muestra 3	0.016	0.014	12.5
ECA-2015	0.011	0.011	--

De esta descomposición se forma también en el agua sales de diversos compuestos, los cuales son degradados por los microorganismos en sustancias solubles de bajo peso molecular es en estas condiciones que las plantas aprovechan de dichos elementos para combinar con los diversos compuestos orgánicos que forman en su estructura interna gran parte de este proceso sucede al realizar la fotosíntesis y liberar oxígeno al ambiente.

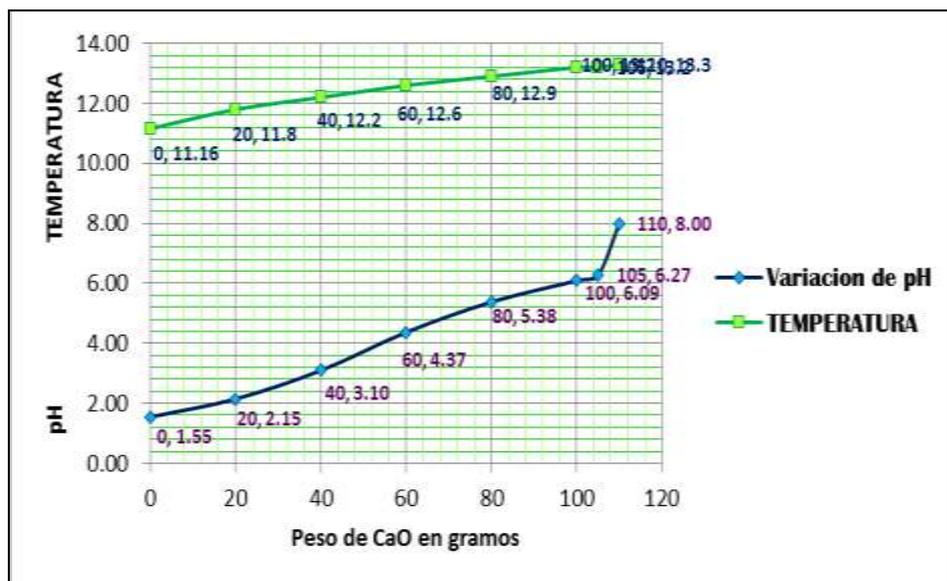
Se ha podido evidenciar en el estudio una mayor adaptabilidad de la Titora en las aguas de la laguna Yanamate y la eficiencia de remoción de compuestos, al lograr un buen crecimiento y vitalidad de la planta de la totora. Además se logra una remoción de los compuestos en un rango de eficiencia de hasta un 11.1 %.

## 4.2. Presentacion de Resultados

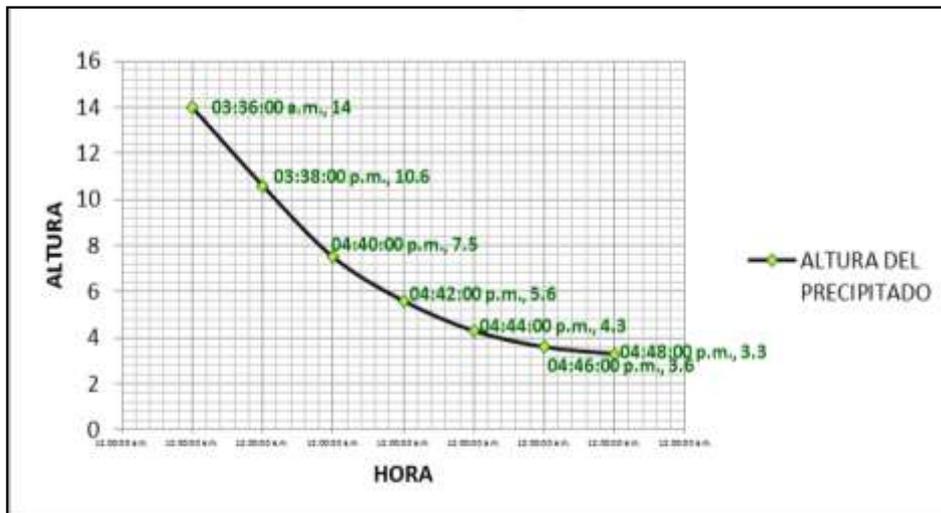
### 4.2.1. Resultados del Método Activo (Ca) para la Neutralización del Agua Acida.

A. Los resultados para la prueba de la muestra en la celda 1, los resultados se muestran en gráficos: 6 y 7.

Grafico No. 6: Variación de pH y temperatura desde 1,55 a 8,00



**Gráfico No 7: Resultados de la Sedimentación con floculante**



#### **Interpretación de los Resultados:**

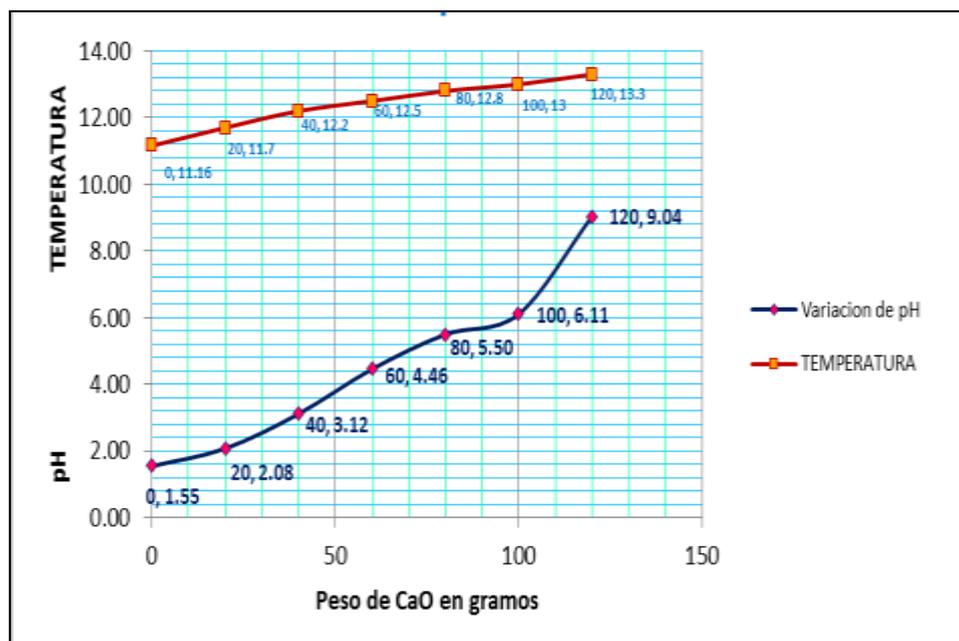
Durante el proceso de la alcalinización realizada se observó que el color del agua va cambiando a medida que se le agrega la cal, desde un amarillo rojizo (color original) a un color anaranjado oxido, cuando se encontraba en un pH aproximado de 5,25 y a medida que la muestra se iba neutralizando el color cambio a un color verdoso no tan oscuro, esto se debe a que los metales pesados que contiene la muestra de agua reaccionaron y gran parte de ellos formando diferentes tipos de hidróxidos, sales y óxidos, producto del proceso de las reacciones químicas que se vienen dando, para luego sedimentarse en el fondo del recipiente.

Al agregar el floculante en 2 g, la sedimentación de los sólidos en suspensión fue mucho más rápido, en la tabla se muestra la altura de precipitación y el volumen de agua limpia. En la medición después de 24 horas, se observa que el pH desciende a 7,70 y la temperatura se encuentra en 10,8 °C.

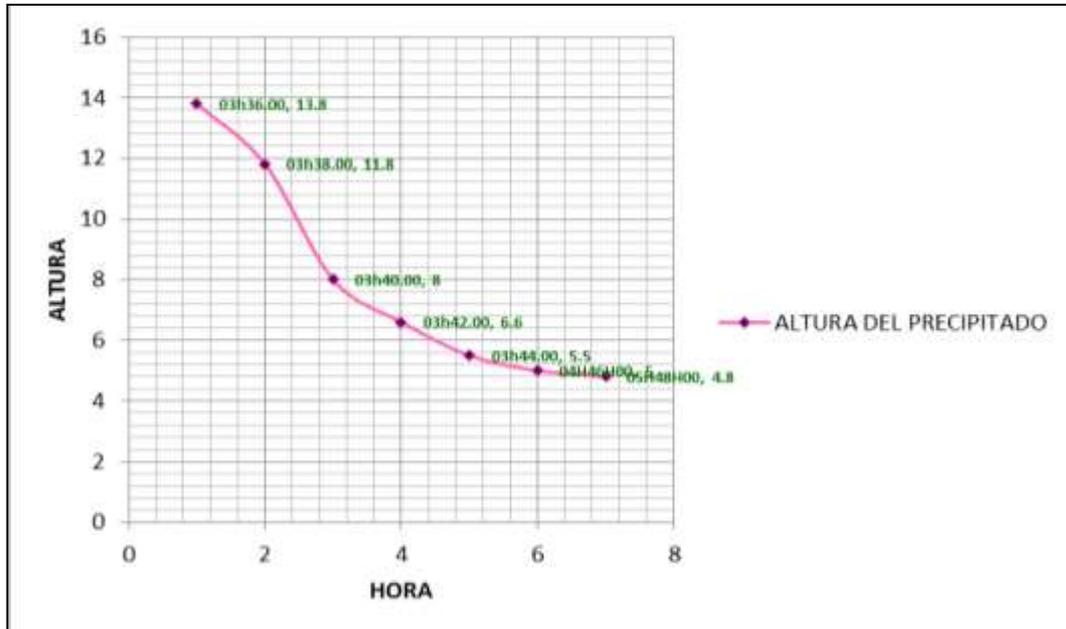
También se pudo observar que durante el proceso de la neutralización la temperatura se vio incrementada levemente debido a la reacción química producida por la cal con el agua acida (reacción química exotérmica).

**B. Los resultados para la muestra en la celda 2, los resultados se muestran en los gráficos: 8, 9 y 10.**

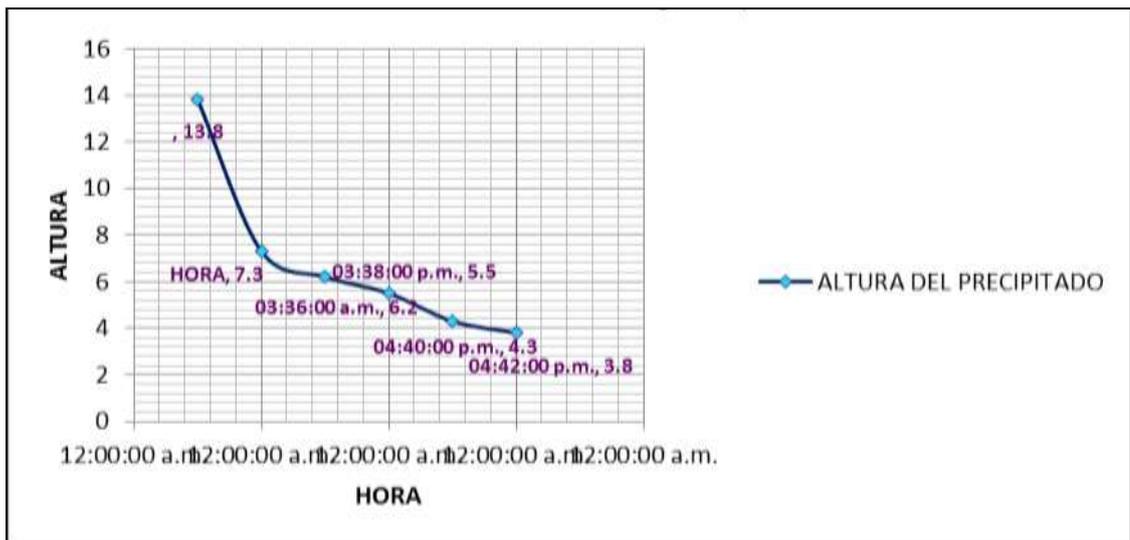
**Gráfico No. 8: Variación de pH desde 1,55 a 9,02**



**Grafico No 9: Resultados de la precipitación sin floculante**



**Grafico No 10: Resultados de la precipitación con floculante**



### **Interpretación de los Resultados:**

En el proceso de alcalinización de un pH de 1,55 a 9,04; se observa que a medida que se añadió el óxido de calcio (CaO), el color del agua iba cambiando de color desde un amarillo rojizo (color original) a un color anaranjado oxidado, esto sucedió cuando encontraba en un pH aproximado de 5,50 y a medida de que la muestra llegaba al pH deseado de 9,00 el color cambio a un color verdoso debido a la que los metales pesados presentes en la muestra formaban diferentes tipos de hidróxidos y óxidos los cuales luego precipitar.

Al agregar 2 g de floculante la precipitación fue mucho más rápido, en el cuadro se muestra las alturas de desplazamiento de la precipitación y el volumen de agua limpia. En la medición después de 24 horas se observa que el pH desciende a 8,40 y la temperatura se encuentra en 10,8 °C.

También se pudo observar que durante el proceso de agitación se puede apreciar en el termómetro tiende un cambio leve en la temperatura, lo cual se debe al desprendimiento del calor debido a la reacción exotérmica de la cal en el agua acida.

C. Los resultados obtenidos en la muestra de la Celda No.3 se muestran en los siguientes gráficos: 11, 12 y 13.

Grafico No. 11: Variación de pH desde 1,55 a 10,01

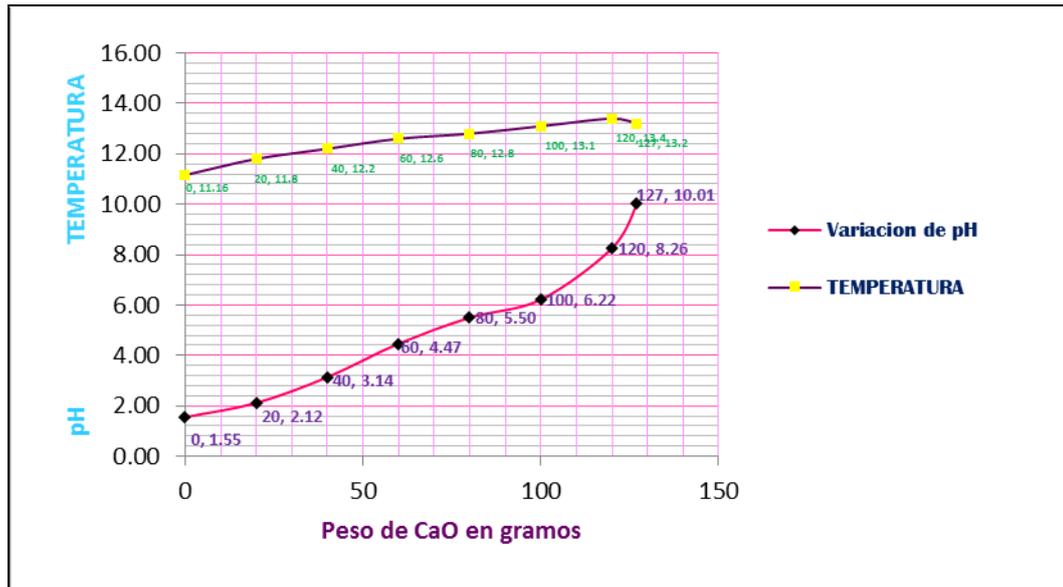
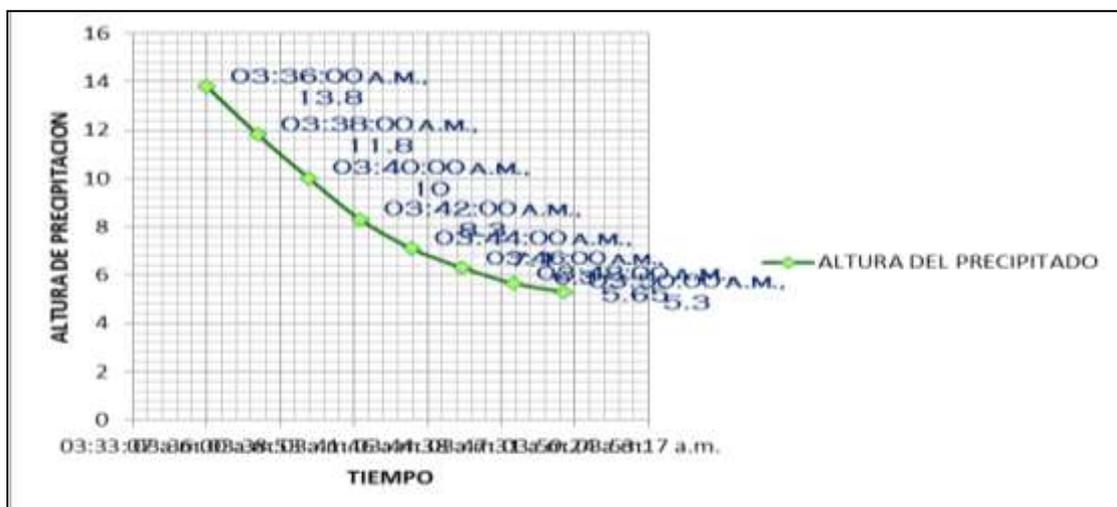
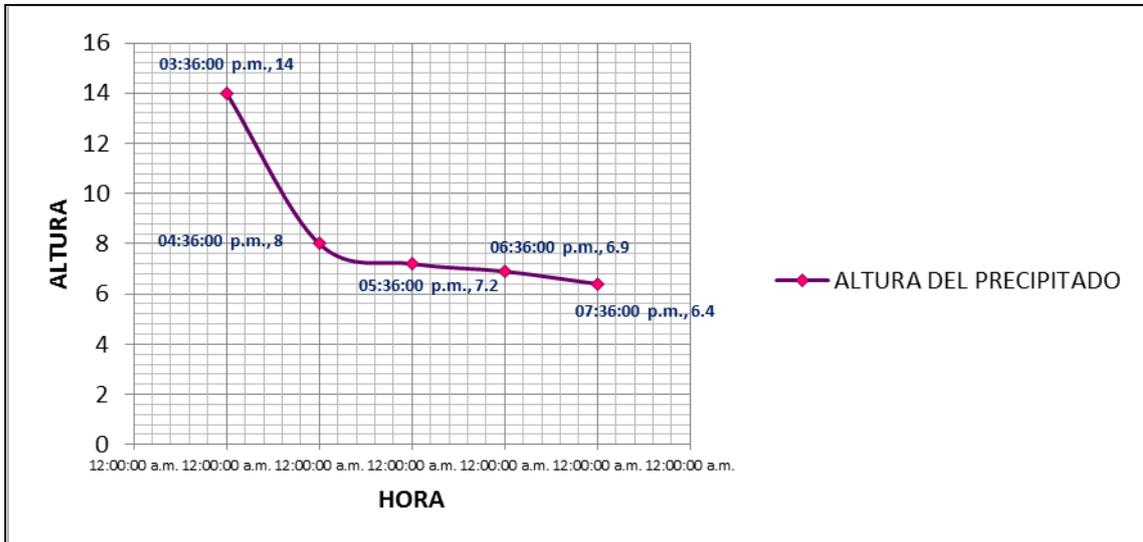


Grafico No. 12: Resultados de la precipitación sin floculante



**Grafico No. 13: Resultados de la precipitación con floculante**



**Interpretación de los Resultados:**

En la experimentación de llevar el pH de 1,55 a 10,02 se observó que a medida que se añadía oxido de calcio (CaO), el color del agua iba variando desde un amarillo rojizo (color original) a un color anaranjado oxido en un pH aproximado de 5,67 y a medida de que la muestra se hacía cada vez más alcalina el color cambio a un color verdoso oscuro, este color se debe a que los metales disueltos en estas aguas, sedimentan a medida que se incrementaba la alcalinidad, como también existen algunos metales que son más difíciles en precipitar como el Cromo (Cr<sup>+6</sup>) al reaccionar con el Óxido de Calcio.

Al agregar 2g de floculante se aceleró la sedimentación, en el cuadro se recolecto los datos en donde mostramos la altura de sedimentación y el volumen de agua limpia durante un determinado periodo de tiempo. Así mismo en la medición después de 24 horas se observa que el pH desciende a 9,02 y la temperatura se encuentra en 10,9 °C.

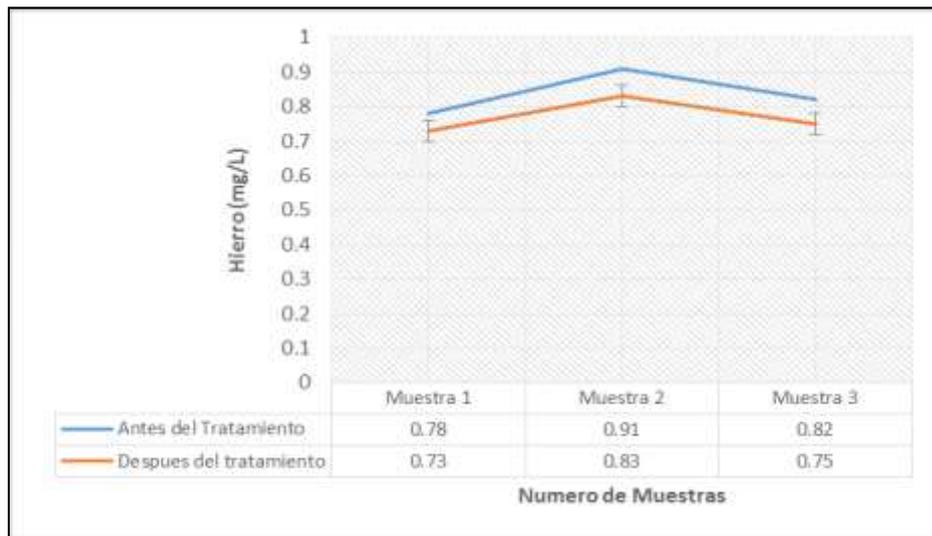
También se pudo observar que durante el proceso de la reacción química la temperatura se vio incrementada levemente debido a la reacción exotérmica del agua acida con la cal, existiendo una leve transferencia de calor de aproximadamente 3°C.

#### **4.2.2. Resultados de las Pruebas de Fitorremediación después de realizado el Método Activo (Cal) para la Neutralización del Agua Acida.**

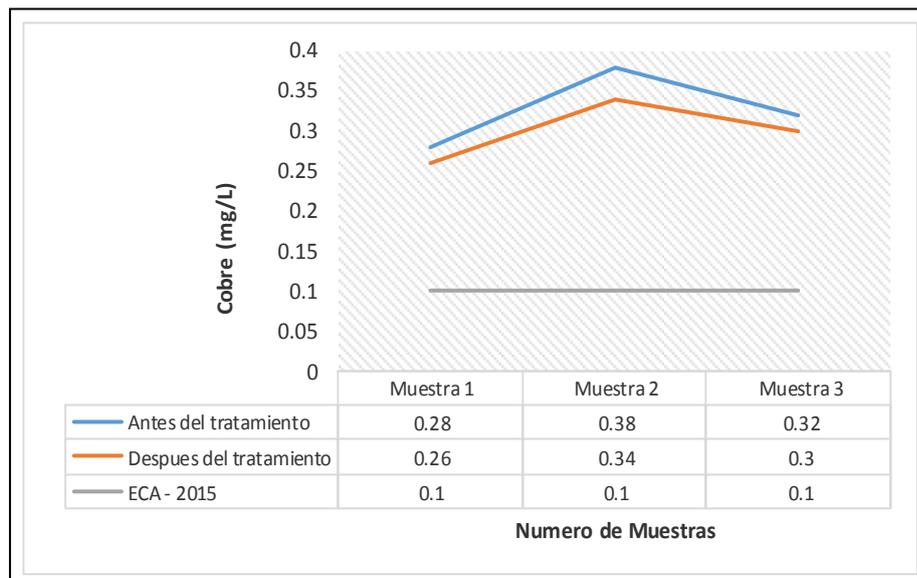
En las pruebas realizadas al emplear la totora los resultados en cuanto a la asimilación de hierro, cobre y cromo VI, en la planta los procesos no son tan rápidos debido a la naturaleza de la planta.

En cuanto a la concentración asimilable en la totora en contenido de hierro fue de 0,5 a 0,8 mg/L, de la misma forma en el cobre fue de 0.2 a 0,4 mg/L y en el cromo VI nos reportó 0,1 a 0,2 mg/L. Los resultados son a 3 meses de realizado la experimentación.

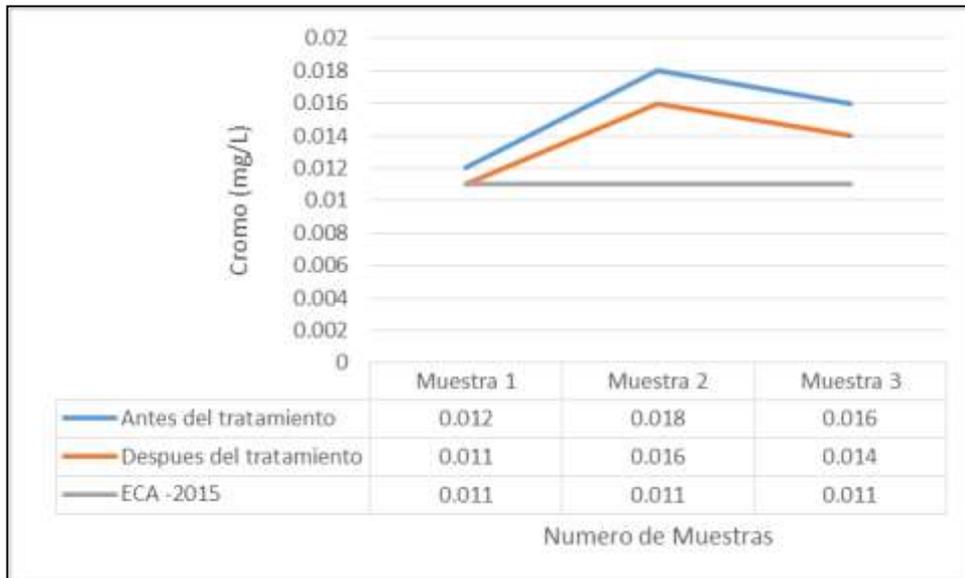
**Grafico No. 14: Resultados del empleo de la totora en la reducción de la Concentración de Hierro en el agua de la laguna Yanamate**



**Grafico No. 15: Resultados del empleo de la totora en la reducción de la Concentración de Cobre en el agua de la laguna Yanamate**



**Grafico No. 16: Resultados del empleo de la totora en la reducción de la Concentración de Cromo en el agua de la laguna Yanamate**



### 4.3. Prueba de Hipótesis

#### 4.3.1. Hipótesis General

El empleo del método activo empleando la cal con una pureza de 80 % de óxido de calcio, es una alternativa para solucionar el problema de la acidez del agua de la laguna Yanamate, para lograr la neutralización y luego ligeramente alcalinizarlo el agua, de esta forma permitir reducir los impactos ambientales que actualmente se tienen. El mejor comportamiento en el tratamiento del agua se logra a un pH igual a 9,02, lo que permite una mejor sedimentación de los metales al formar diferentes compuestos y lograr una mejor clarificación del agua.

La fitorremediación, es otra alternativa complementaria que se ha utilizado en la investigación, para reducir el contenido de metales pesados como Hierro, Cobre y Cromo VI después de haber logrado la neutralización del agua de la laguna Yanamate, los resultados por el momento nos dan rendimientos menores al 11.11 %, y a largo plazo en 5 a 10 años se podría lograr un mejor rendimiento, al realizar otras investigaciones con mayores tiempos de podrían lograr buenos resultados para descontaminar las aguas. Para nuestra investigación se ha usado la planta de la totora, el cual habita en el piso ecológico. El experimento duro 3 meses.

#### **4.3.2. Hipótesis Específicos**

A. Se logra identificar que el problema principal es la alta acidez que presentan las aguas que son vertidas directamente sin ningún tratamiento a la laguna Yanamate, cuya medición fue pH de 1,55; otro factor es el contenido de metales disueltos como Hierro, Cobre y Cromo VI, que con relación a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) agua del D.S. 015-2015-MINAM sobrepasan estos límites, y son un factores que están generando impactos al ambiente y problemas de contaminación de las aguas de la laguna Yanamate

B. Es posible emplear el método activo, porque al emplear la cal que contiene 80 % de óxido de calcio (CaO), es un recurso que abunda en la provincia de Pasco, lo que nos permite neutralizar la acidez del agua a un pH ligeramente alcalino de 9,02 de esta forma mejorar la calidad del agua en el parámetro de pH y al emplear fitorremediación con la planta de la totora los contenidos de Hierro, Cobre y Cromo VI. Este método toma mayor tiempo por tratarse de plantas y por los mecanismos de acumulación que cuentan. Al emplear el método activo y la fitorremediación permite mejorar considerablemente la calidad del agua de la Laguna Yanamate, con el fin de devolverle la vida a este ecosistema contaminado.

#### **4.4 Discusión de Resultados**

El problema principal de la contaminación del agua de la laguna Yanamate, es la concentración que actualmente presenta en cuanto al pH de 1.55 y el contenido de metales disueltos como Hierro, Cobre y Cromo IV, esta información se ha logrado obtener de los análisis realizados de los monitoreo realizados a las muestras de agua. Estas concentraciones se han comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de Agua D.S. No. 015-2015-MINAM, los cuales están por encima de estos Límites establecidos.

El primer objetivo de la investigación es buscar una tecnología que nos permita solucionar el problema de la acidez del agua, por lo que en la presente investigación, se ha podido aplicado el método activo al emplear la cal con una pureza de 80%, como el insumo químico para realizar las pruebas de laboratorio y de esta forma lograr la neutralización de las aguas de la laguna Yanamate, para solucionar el mencionado problema, otro aspectos en cuanto al producto utilizado fue por la abundancia en cuanto a su producción en la provincia de Pasco y los bajos costos en comparación a otros productos.

Al realizar las pruebas con las tres muestras seleccionadas, se pudo apreciar que a medida que se lograba neutralizar el agua se notaba el cambio del color de los sedimentos, lo que evidenciaba que también se estaba logrando la formación de nuevos compuestos con los metales disueltos para la formación de hidróxidos, sales y otros; lo que permite la reducción considerable en la concentración de los metales disueltos en el agua.

Con el método activo se logra también reducir la concentración del contenido de los metales disueltos en las muestras del agua de la laguna Yanamate, a los límites cercanos a lo señalado en los Estándares Calidad Ambiental de agua del D.S. No. 015-2015-MINAM por lo que es necesario aplicar el método de tratamiento de la fitorremediación para seguir reduciendo estas concentraciones en el agua con el empleado a la totora una planta semi acuática que abunda en este piso ecológico, existen

estudios que indican que la planta tiene propiedades acumuladora de metales pesados en su tallo y hojas.

Al realizar los experimentos en el laboratorio se puede apreciar en los resultados de los análisis realizados, que en los tres meses las plantas han absorbido entre 0,2 a 0,8 mg/L de cada uno de los metales disueltos presentes en el agua, lo que nos demuestra que a un mayor tiempo de tratamiento y con una cantidad apropiada de estas se podría lograr el objetivo de descontaminar las aguas de la laguna Yanamate a los parámetros del ECA de agua establecido en el 2015.

## CONCLUSIONES

1. Con los análisis realizados en las muestras de agua realizadas en la laguna Yanamate, se pudo identificar que el problema principal es la alta acidez de las aguas que son vertidas directamente provenientes de las operaciones mineras de la empresa minera Cerro S.A.C. cuya medición del pH fue 1,55; también la presencia de metales pesados disueltos como Hierro, Cobre y Cromo VI, que al comparar los parámetros establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para aguas D.S. No. 015-2015-MINAM sobrepasan estos límites.
2. El propósito de la presente investigación es plantear una alternativa de solución al problema principal por lo que se han realizado pruebas empleando el método activo (cal con una pureza de 80%), para realizar las pruebas de laboratorio y de esta forma se logró la neutralización de las muestras de aguas de la laguna Yanamate, los resultados obtenidos son satisfactorios y muy cercanos a los con límites de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) agua del D.S. 015-2015-MINAM
3. Para las pruebas de fitorremediación se empleó la totora, para el tratamiento de los metales disueltos en el agua después de realizado el tratamiento con el método activo con la finalidad de reducir más los contenidos de Hierro, Cobre y Cromo VI, este método toma mayor tiempo y por los mecanismos de acumulación

que tienen las propias plantas lo que no permite su control.  
También mencionar en los tres meses las plantas han absorbido  
entre 0,2 a 0,8 mg/L.

## **SUGERENCIAS**

1. La protección de nuestros recursos naturales como: ríos, lagunas, lagos, etc. En nuestro país es de vital importancia, por ello nuestras instituciones públicas están obligadas a proponer medidas de control con la finalidad de evitar su contaminación entre las autoridades que tienen la competencia ambiental son las siguientes: Ministerio del Ambiente, la gerencia de recursos naturales y gestión del medio ambiente, Autoridad Nacional del Agua, OEFA, Fiscalía Ambiental, DIGESA, entre otras son las instituciones del estado.
2. Las empresas mineras están obligadas a realizar el tratamiento de sus aguas industriales en cumplimiento al D.S. No. 010-2010-MINAM y D.S. No. 015-2015.
3. Las empresas mineras deben fomentar una mayor responsabilidad social empresarial con las comunidades de sus áreas de influencia, para fomentar un desarrollo armonioso con la comunidad, el ambiente y la economía.

## BIBLIOGRAFIA

1. Antonio Romero. Origen del drenaje ácido de minas problemática ambiental de las escombreras de Peña del Hierro (Faja piritica ibérica). Universidad de Sevilla. Abril del 2005.
2. Akcil and Koldas, Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies *Journal of Cleaner Production* 2006, 14, 1139 - 1145. 2006.
3. Carolina Isabel Bahamóndez Honores. Importancia de la Actividad Microbiológica en la predicción del drenaje ácido de minas. Universidad de Chile. Agosto del 2012.
4. Marco Bersanelli; Mario Gargantini (2006). Sólo el asombro conoce. La aventura de la investigación científica. Ediciones Encuentro.
5. MEM, "El ABC de la minería en el Ecuador". En Ministerio de Energía y Minas del Ecuador - Ministerio de Recursos Naturales no Renovables del Ecuador: Quito, 2007.
6. Ministerio de Energía y Minas – Peru. Dirección General de Asuntos Ambientales y Mineros. Guía de Manejo de Drenaje Ácido de Mina. Lima-Peru. 2012.
7. Neculita, Zagury, and Bussiere, Passive treatment of acid mine drainage in bioreactors using sulfate-reducing bacteria: critical review and research needs. *Journal of Environmental Quality*, 36, 1-13. 2007.

8. Raúl Antonio Bazán Becerra. Drenaje ácido de Mina. . Lima. Perú.  
2 de febrero 2013.
9. Sánchez, “Panorama de la minería latinoamericana, Proyecto UNCTAD/CEPAL: Taller para autoridades locales mineras”. En CEPAL, Ed. Lima, 2004.
10. Sierra - Alvarez, Karri, Freeman, and Field, Biological Treatment of Heavy Metals in Acid Mine Drainage using Sulfate Reducing Bioreactors. Water Science and Technology, 54, 179 – 185.2006.
11. Virginia Andrade. Evaluación del Potencial de Generación de Sulfuro por la Acción de las Bacterias Sulfato Reductoras y sus Posibles Aplicaciones en el Tratamiento de los Drenajes Ácidos de Mina. Universidad San Francisco de Quito.30 de abril 2010.
12. Zorrilla Arena, Santiago (2007). Introducción a la metodología de la investigación. México. Edit. Océano. 1988 [reimpresión 2007].

**ANEXO**

Fotografía No. 1: Vista del vertimiento de agua acida proveniente de la Empresa Minera Cerro S.A.C.



Fotografía No. 2: Vista panorámica de la laguna Yanamate



Fotografía No.3: Condiciones actuales de los suelos de la laguna Yanamate



Fotografía No.4: Realizando la Medicion del Nivel del espejo de agua de la Laguna Yanamate.



Fotografía Satelital No. 1: Ubicación de la laguna Yanamate

