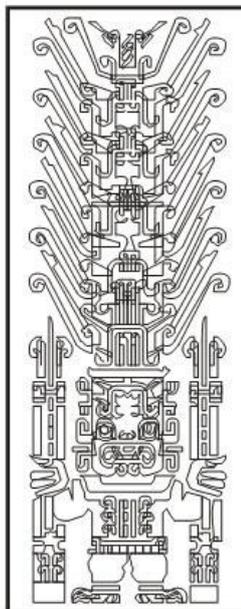


**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS  
ACIDAS QUE DRENAN DEL PASIVO AMBIENTAL DE LA MINA NUNCIA  
MEDIANTE EL USO DE BACTERIAS SULFATO REDUCTORAS –  
ATAQUERO – CARHUAZ -ANCASH**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

ERICK MANUEL CADILLO NIETO

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

**Lima – Perú**

**2018**

## **DEDICATORIA**

A mis Padres, Abuelos y a toda mi familia y amigos que siempre estuvieron hay apoyándome en los momentos más difíciles y a las personas que de alguna u otra forma colaboraron con la finalización de esta investigación, este trabajo ha sido posible gracias a todos ellos que me motivaron e inspiraron en el camino.

## **AGRADECIMIENTOS**

- A la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo (FIGAE), por darme los mejores años de mi vida mientras estuve en sus aulas.
- A la Facultad de Ingeniería de Minas de la UNASAM (Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo-Huaraz), en especial al Ing. Enrique Sotelo por la asesoría y colaboración en esta investigación.
- Al Laboratorio SAG (Servicios Analíticos Generales) por el apoyo en el proceso de muestreo de agua y análisis de las mismas.
- A la Municipalidad Distrital de Carhuaz-Ataquero por prestarme sus instalaciones durante la realización del proyecto en beneficio de su población.
- A mi Asesora la Ing. Carmen Ventura, por su compromiso y dedicación durante todo el proyecto de investigación.
- A todos los docentes de la FIGAE por transmitirme sus conocimientos y consejos.

## ÍNDICE

CAPITULO I.- INTRODUCCION.....	14
1.1. ANTECEDENTES: .....	16
1.2. PROBLEMA: .....	21
1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	21
1.2.2 FORMULACION DEL PROBLEMA: .....	24
1.3. OBJETIVOS .....	25
1.3.1 OBJETIVO PRINCIPAL .....	25
1.3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS:.....	25
1.4. HIPOTESIS: .....	25
1.5. IDENTIFICACION DE VARIABLES: .....	26
1.6. JUSTIFICACION.....	27
1.6.1 Justificación Legal .....	27
1.6.2 Justificación Social .....	27
1.6.3 Justificación Técnico-Científica .....	28
1.6.4 Justificación ecológica.....	28
1.7. IMPORTANCIA: .....	28
CAPITULO II.- MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL.....	30
2.1. MINERIA Y CONTAMINACION DEL AGUA:.....	31
2.2. PASIVOS AMBIENTALES MINEROS .....	33
2.3. RIESGOS Y DAÑOS AMBIENTALES.....	35
2.4. DRENAJE ACIDO DE MINA (DAM):.....	39
2.5. MECANISMOS DE GENERACION DE AGUAS ACIDAS:.....	40
2.6. CARACTERIZACIÓN DE LOS DRENAJES ÁCIDOS DE MINA .....	43
2.7. EFECTOS DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINA .....	48
2.8. BACTERIAS SULFATO REDUCTORAS .....	55
2.9. DEFINICIÓN .....	56
2.10. VENTAJAS DEL PROCESO DE SULFATO-REDUCCIÓN EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES: .....	59
2.11. PROCESO DE SULFATO-REDUCCIÓN PARA LA BIOPRECIPITACIÓN DE METALES:.....	60
2.12. MARCO LEGAL: .....	61
2.13. MARCO TEMPORAL:.....	64
2.14. MARCO ESPACIAL:.....	64

<b>CAPITULO III.- MATERIALES Y METODOS:</b> .....	<b>65</b>
3.1. MATERIAL DE ESTUDIO.....	65
3.2. REACTIVOS Y MATERIALES.....	65
3.3. METODOLOGIA DEL ESTUDIO:.....	67
3.3.1 TIPO:.....	67
3.3.2 DISEÑO DE INVESTIGACION:.....	67
3.3.3 RECOPIACION DE LA INFORMACION:.....	68
<b>CAPITULO IV.- DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>69</b>
4.1. UBICACIÓN .....	69
4.2. LÍMITES Y VIAS DE ACCESO.....	70
4.2.1 VIAS DE ACCESO:.....	71
4.3. EXTENSION TERRITORIAL:.....	71
4.4. ASPECTO FISICO:.....	71
4.5. CARACTERISTICAS SOCIALES:.....	76
<b>CAPITULO V.- RESULTADOS .....</b>	<b>81</b>
4.1. IDENTIFICACION Y CARACTERIZACION INICIAL DEL AGUA.....	81
4.2. EFICIENCIA DE LA COLUMNA DE TRATAMIENTO.....	95
4.2.1 PROPUESTA DE TRATAMIENTO:.....	95
4.2.2 PROCESO BACTERIAL EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS.....	95
4.2.3 PROCEDIMIENTOS PARA EL TRATAMIENTO:.....	96
4.2.4 PREPARACION DE LA COLUMNA DE TRATAMIENTO .....	97
4.3. DESCRIPCION DEL DIAGRAMA:.....	101
4.4. PRUEBA DE COLUMNAS:.....	101
<b>CAPITULO VI. - DISCUSION DE RESULTADOS:.....</b>	<b>105</b>
<b>CONCLUSIONES: .....</b>	<b>107</b>
<b>RECOMENDACIONES: .....</b>	<b>108</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXOS: .....</b>	<b>115</b>
<b>GLOSARIO :.....</b>	<b>132</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

**TABLA N° 1.-** Pasivos ambientales mineros en el Perú

**TABLA N° 2.-** Variables Dependientes.

**TABLA N° 3.-** Variables Independientes

**TABLA N° 4.-** Tipos y subtipos de PAMs

**TABLA N° 5.-** Efectos asociados a los PAMs

**TABLA N° 6.-** Métodos preventivos de formación de DAM

**TABLA N° 7.-** Sustancias tóxicas y sus efectos en la salud humana

**TABLA N° 8.-** Sustancias tóxicas y sus efectos en las plantas

**TABLA N° 9.-** Niveles aceptables de metales y metaloides para agua potable y protección de la vida acuática

**TABLA N° 10.-** Bacterias reductoras de sulfato

**TABLA N° 11.-** Materiales para ubicación del área de estudio

**TABLA N° 12.-** Materiales para muestreo del agua

**TABLA N° 13.-** Materiales para la instalación de la columna de tratamiento.

**TABLA N° 14.-** Materiales para la instalación del filtro de tratamiento

**TABLA N° 15.-** Población

**TABLA N° 16.-** Tipo de abastecimiento de agua

**TABLA N° 17.-** Condición de actividad económica en el distrito de Ataquero-Carhuaz

**TABLA N° 18.-** Distribución de la población según actividad económica

**TABLA N° 19.-** Viviendas por área urbana y rural en Ataquero

**TABLA N° 20.-** Tipo de material de las paredes de las viviendas.

**TABLA N ° 21.-** Coordenadas de los puntos de muestreo

**TABLA N ° 22.-** Resultados del análisis inicial

**TABLA N ° 23.-** Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas

**TABLA N ° 24.-** Materiales para la prueba de columna

**TABLA N ° 25.-** Datos del caudal

**TABLA N ° 26.-** Datos de volumen tratado y resultados del pH

**TABLA N ° 27.-** Resultados de la concentración de metales

**TABLA N ° 28.-** Resultados preliminares y pilotos de análisis de aguas de la Mina Nuncia.

## ÍNDICE DE ECUACIONES

**ECUACIÓN N° 1.-** Reacciones en la oxidación de la pirita.

**ECUACIÓN N° 2.-** Oxidación de iones ferrosos a férricos.

**ECUACIÓN N° 3.-** Hidrolisis del ion férrico como hidróxido

**ECUACIÓN N° 4.-** Formación del  $Fe^{+2}$ .

**ECUACIÓN N° 5.-** formación de la acidez.

**ECUACIÓN N° 6.-** Hidrolisis de metales en solución.

**ECUACIÓN N° 7.-** Acetato como donador de electrones

**ECUACIÓN N° 8.-** Reacción para formación de un sulfuro de metal.

**ECUACIÓN N° 9.-** Producción de sulfuro y alcalinidad.

**ECUACIÓN N° 10.-** Sulfuro biogénico.

**ECUACIÓN N° 11.-** Oxidación sulfidogénica.

**ECUACIÓN N° 12.-** Reacción del sulfuro de hidrogeno.

## **ÍNDICE DE MAPAS**

**MAPA N° 1.** - Mapa de ubicación del área de estudio.

**MAPA N° 2.-** Mapa puntos de monitoreo del agua.

## ÍNDICE DE FIGURAS

**FIGURA N° 1.** - Disponibilidad hídrica en el Perú.

**FIGURA N° 2.** - Drenaje ácido de mina

**FIGURA N° 3.** - Área de estudio

**FIGURA N° 4.** - Localización del distrito de Ataquero

**FIGURA N° 5.** - Diferencia entre LMP y ECA

**FIGURA N° 6.** - Cortaderia rudiangular Stapf

**FIGURA N° 7.** - Schinus molle L.

**FIGURA N° 8.** - Juncus articus Wild

**FIGURA N° 9.** - Triticum aestivum.

**FIGURA N° 10.** - Guano del cuy

**FIGURA N° 11.** - Bosta de la vaca.

**FIGURA N° 12.** - Guano de pollos.

**FIGURA N° 13.-** La turba.

**FIGURA N° 14.** - El abono compost

**FIGURA N° 15.** - Tubo PVC de 4”.

**FIGURA N° 16.** - Male adaptor para tubo de 4”

**FIGURA N° 17.** - Balanza analítica.

**FIGURA N° 18.** - Tamizado para tubo de 4”.

**FIGURA N° 19.** - Diagrama de flujo de la prueba de columna.

## ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

**FOTOGRAFIA N° 1.** - Quebrada pacchac en Ataquero

**FOTOGRAFIA N° 2.-** Curso de agua de la quebrada

**FOTOGRAFÍA N° 3.-** Drenaje acido en la parte baja de la quebrada (pm1)

**FOTOGRAFÍA N° 4.-** Drenaje acido en la parte media de la quebrada (pm2)

**FOTOGRAFÍA N° 5.-** Drenaje acido en la parte alta de la quebrada (pm3)

**FOTOGRAFÍA N° 6.-** Coloración del drenaje

**FOTOGRAFÍA N° 7.-** Paja del trigo

**FOTOGRAFIA N° 8.-** Bosta de la vaca

**FOTOGRAFIA N° 9.-** La turba

**FOTOGRAFIA N° 10.-** Columna de tratamiento

**FOTOGRAFIA N° 11.-** Tamizado con tela

**FOTOGRAFIA N° 12.-** Columna de tratamiento

**FOTOGRAFIA N° 13.-** Muestras de agua

**FOTOGRAFÍA N° 14.-** Muestreo del agua

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se enfocó en desarrollar una propuesta para la reducción de las concentraciones de los metales totales en el agua acida del pasivo ambiental dejado por la empresa minera Nuncia en el distrito de Ataquero, provincia de Carhuaz, departamento de Áncash. Así permitiendo mejorar la calidad del agua, para lo cual se construyó un sistema de tratamiento consistente en uno tubo de PVC de 4" que simula una columna de tratamiento teniendo como filtros naturales los propios materiales de la zona donde se realizara la investigación, de entre los cuales se seleccionó a la turba, paja y bosta de la vaca, ya que estas nos generan bacterias sulfato reductoras, las cuales son las causantes de la mejora de la calidad del agua.

Para los efectos, se dio un primer paso con la identificación y caracterización de la zona de drenaje acido, confirmados por el laboratorio en sus resultados arrojando acidez en todos los puntos de monitoreo, seguidamente se escogió un punto el más elevado en acidez para evaluar nuestra metodología al cual denominamos PM3 donde se observó una elevada concentración para el cobre (Cu).

El siguiente paso fue instalar el sistema de tratamiento y probar su eficiencia para ello se recolecto agua del punto PM 3 ( punto de descarga de drenaje acido de mina), para después hacerla pasar por la columna y luego recolectar dicha agua para medir su pH in situ, el cual al compararla con el del agua ingresante nos dieron valores favorables, logrando así elevar considerablemente el pH hasta un valor de 6.24 y por ende las concentraciones de los metales disminuyeron hasta valores aceptables como en el caso del Cobre (Cu) con un valor final de 0.21 mg/l , así cumpliendo con la normativa peruana D.S 010-2010-MINAM para límites máximos de descarga de efluentes para la actividad minera.

**Palabras claves:** Pasivo ambiental, Aguas acidas, bacterias sulfato reductoras, calidad.

## ABSTRACT

The present research work focused on developing a proposal for the reduction of the concentrations of total metals in the acidic water of the environmental liability left by the Nuncia mining company in the district of Ataquero, province of Carhuaz, department of Ancash. This allowed us to improve the water quality, for which a treatment system consisting of a 4 "PVC tube was constructed that simulates a treatment column having as natural filters the own materials of the area where the research will be carried out, from which were selected to peat, straw and cow dung, since these generate sulfate-reducing bacteria, which are the cause of the improvement of water quality.

For these purposes, a first step was taken with the identification and characterization of the acid drainage area, confirmed by the laboratory in its results, showing acidity at all the monitoring points, followed by a point chosen for the highest acidity to evaluate our methodology to which we denominate PM3 where a high concentration for copper (Cu) was observed.

The next step was to install the treatment system and test its efficiency. For this purpose, water was collected from point PM 3 (point of discharge of acid mine drainage), to then pass it through the column and then collect that water to measure its pH in. situ, which when compared with the incoming water gave us favorable values, thus achieving a significant increase in pH up to a value of 6.24 and therefore the concentrations of the metals decreased to acceptable values as in the case of copper (Cu) with a final value of 0.21 mg / l, thus complying with the Peruvian regulation DS 010-2010-MINAM for maximum discharge limits of effluents for mining activity.

Keywords: Environmental passive, Acidic waters, sulphate reducing bacteria, quality.

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

La minería peruana es uno de los pilares de la economía nacional, ya que constituye en la que mayores ingresos económicos genera al Estado dentro de las actividades extractivas y está en continuo crecimiento, pero, así como aumentan las concesiones mineras también los pasivos ambientales dejados por estos y por lo tanto los efectos negativos al medio ambiente, en tal motivo, se requiere de medidas de mitigación, tal es el caso de esta investigación que busca mitigar los impactos ambientales negativos.

El objetivo del trabajo de investigación está enfocado en reducir el potencial de contaminación debido al drenaje ácido que contiene metales en solución tales como fierro, arsénico, zinc y cobre de la parte baja de la mina Nuncia, actualmente considerada como pasivo ambiental. Para este caso se está estudiando la posibilidad de mejorar la calidad de las aguas contaminadas con metales mediante el uso de bacterias sulfato reductor.

Entre ellas, la especial atención es la aplicación de sistemas pasivos para mejorar la calidad de las aguas ácidas proponiendo diferentes alternativas de actuación.

La tesis se centra en un caso de estudio particular de la mina NUNCIA, que se encuentra abandonada la predicción de la calidad de las aguas, así como una previsión de posibles métodos de tratamiento que pudieran llevarse a cabo en caso de ser necesario, conforman el motivo principal de esta tesis.

Se propone la aplicación de diversas técnicas existentes al tratamiento de las aguas ácidas de mina, apoyadas sobre todo en métodos pasivos e indicando en cada caso los materiales y requisitos necesarios para su aplicación.

Finalmente, se presentan los esquemas del método de tratamiento pasivo que son efectivos y viables para el caso estudiado, así como las dimensiones de todos los parámetros necesarios para su construcción.

El presente trabajo de investigación muestra en su primer capítulo, los antecedentes a la investigación, el planteamiento y la formulación del problema seguido de los objetivos principales y secundarios, la hipótesis, identificación de las variables y la justificación e importancia de la misma.

En el capítulo dos, se detalla el marco teórico en donde teniendo este tema de los drenajes ácidos de mina y sus diversos métodos de tratamiento pasivos poca información se pudo encontrar algunas teorías rebuscadas de autores reconocidos en el tema en mención, seguido del marco normativo, tales como leyes, decretos supremos aplicables al tema en investigación.

En el capítulo tres, se menciona los materiales y método a usados en la investigación como equipos, herramientas y medios; en tanto en el método colocaremos el tipo de investigación, diseño de investigación, la población y muestra.

En el capítulo cuatro, se menciona las características del área de estudio tales como su ubicación, climatología, geología, topografía, hidrografía, población y datos estadísticos obtenidos de INEI, INGEMET, SENAMHI, etc.

En el capítulo cinco, Se presentan los resultados obtenidos, tanto en campo como en laboratorio, sus comparaciones con la normativa legal actual y demás que resultan de usar la metodología, además de estudios relacionados.

En el capítulo seis, se mencionará la discusión de resultados dando a conocer en la forma de que se dieron, así como los factores que influyeron en él.

En el capítulo siete, se menciona las conclusiones y las recomendaciones en donde concluiremos con dar a conocer la efectividad o no del método usado y en recomendaciones si fuese favorable los resultados esta sirva de ejemplo para futuras investigaciones sobre el tema.

### **1.1. ANTECEDENTES**

**Palomino, Paredes y Villanueva (2004)**, en su trabajo de investigación a nivel laboratorio realizaron una serie de experimentos y lograron incrementar el pH de 2.39 a 7.23, una remoción de 94,8% de sulfatos; 99,60% de precipitación de hierro, 99,23% de plomo, y 98,57% de cobre empleando BSR y mecanismos de biosorción con especies fitorremediadoras (44 especies identificadas). Este sistema sinérgico se denomina sistema de humedales o “wetlands”, el humedal se implementó en la Cancha de Relave Mesapata (Huaraz).

**Villachica et. al (2000)** en su proyecto MIDAS : Convirtiendo en oro los metales comunes por su lado también han aportado valiosa información y patentado una nueva tecnología denominada NCD (Neutralización y Coagulación Dinámica) para el tratamiento del DAM basado en procesos fisicoquímicos desarrollados en Canadá, tecnología HDS (Lodos de Alta Densidad), actualmente esta tecnología viene siendo aplicada para descontaminar los ríos Yauli y Mantaro en la principal fuente de contaminación ácida que es el efluente del Túnel Kingsmill “que descarga de 1100 a 1800 L/s de agua ácida, en lo que probablemente constituye en mayor caudal de agua ácida del mundo . En el tratamiento de drenajes ácidos de mina por el método NCD se neutraliza con cal y paralelamente se adiciona un coagulante sólido granular que

permite la coagulación y sedimentación de los precipitados coloidales aprovechando el fenómeno de “recubrimiento de lamas” que ocurre en la flotación de minerales.

**Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo**, en su investigación realizada sobre “La influencia de la minería en la calidad de las aguas del río Santa (Huaraz 2008)”. La calidad del agua del río Santa es muy mala con respecto a coliformes y nitratos indicadores de la actividad humana y agrícola a lo largo del Callejón de Huaylas y también a la presencia de canchas relaveras dentro de su cauce caso de las relaveras de Ticapampa y los que están adyacentes a sus márgenes como son: La cancha relavera de la mina de Huinac, de la mina de Santo Toribio y Santa Rosa de Jangas de la UNASAM. Además de las quebradas que drenan tal río Santa tanto de la Cordillera Negra como de la Blanca, reflejando que los niveles de metales en sus aguas son relativamente bajos con excepción de arsénico, hierro, zinc, cobre y plomo que están en buena cantidad. Estos niveles son resultado del procesamiento histórico de los minerales en la cuenca.

Los niveles de metales, tales como arsénico y plomo se deben la presencia de relaves existentes en las cercanías de la cuenca.

La calidad de agua del río Mancos o Río San Roque muestra concentraciones altas de cobre. Lo que sugiere drenaje ácido de roca (ADR). Se instaló un sistema de tratamiento biológico con el uso de bacterias sulfato-reductoras para lo cual usaron piedra caliza arena entre otros materiales entre los cuales se encontraba la bosta de la vaca la cual al ser analizada en el laboratorio dio como resultado la existencia de la bacteria *desulfovibrio*, causante de la mejora en la calidad de dichas aguas.

**Roxana Aparicio Ilazaca, Abel Mejía Marcacuzco y Eusebio Ingol Blanco**, en su investigación realizada sobre “Tratamiento del drenaje ácido de mina mediante bacterias sulfatos reductores: Caso Minera Iscaycruz”, Lima, 2014.

Señalaron en el XII congreso latinoamericano de Hidrogeología Santiago de Chile en agosto del 2014 lo siguiente:

El impacto ambiental que genera el drenaje ácido de mina (DAM) es un creciente problema a nivel global, distribuido en zonas mineras alrededor del mundo. Este se produce cuando minerales sulfurados son expuestos al contacto con agua y oxígeno generando escurrimientos ácidos móviles con bajo pH y significativos niveles de iones metálicos y sales disueltas como sulfato. Estos escurrimientos pueden contaminar recursos hídricos superficiales y subterráneos, limitando sus usos y afectando seriamente el ecosistema. El Perú de acuerdo a su condición geológica natural y la actividad minera extractiva, desarrollada principalmente en cabeceras de cuencas alto andinas, está expuesto a procesos de generación de drenaje ácido que impactan directamente en la movilización de diversos contaminantes (metales y no-metales). Las reacciones catalizadas por microorganismos tienen un impacto directo en los procesos de generación ácida, así como en el desarrollo de alternativas de tratamiento. El tratamiento de aguas ácidas viene siendo uno de los focos de estudio para la minería mundial, desarrollando diferentes sistemas y procesos de control. Las alternativas de control que utilizan procesos de tratamiento activos, muchas veces resultan costosas y poco aplicables. En ese sentido los procesos biológicos de tratamiento que se basan en la habilidad de microorganismos para generar alcalinidad e inmovilizar metales, viene a ser una alternativa que tiene atención en los últimos años. A pesar de esto el pH ácido muchas veces limita el crecimiento de estos

microorganismos reductores de sulfato afectando las tasas de remoción de sulfato y metales, lo que ocasiona que estos sistemas solo puedan operar bajo determinadas condiciones. En consecuencia, la optimización de estos procesos no ha avanzado significativamente últimamente. El desarrollo de nuevas tecnologías como los biorreactores utilizando bacterias sulfato reductoras (BSR), representa una oportunidad para el desarrollo de metodologías de tratamiento efectivo del DAM, asimismo la optimización de los procesos biológicos de tratamiento con microorganismos ácido tolerantes representa una fuente de estudio que podría mejorar el costo-beneficio de los procesos de remediación de los recursos hídricos contaminados con DAM.

**Gutiérrez, Terrazas y Álvarez (2005)**, en su trabajo de investigación denominado “Cultivo a escala de laboratorio de bacterias sulfato reductoras acidófilas y su aplicación en procesos de biorremediación utilizadas para la precipitación de metales pesados”, publicado en Bolivia el 2009, señala que respecto a la producción de sulfuros en un sistema de cultivo *batch* empleando como sustrato paja de trigo y un consorcio de bacterias logró reducir la concentración de sulfatos de 31 a 18 mM, con una producción de 5.9 mM de sulfuros; y en un biorreactor de columna Chang et al. (2000) empleó como fuente de sustrato y soporte pedazos de roble, abono de hongos, papel y lodo, logrando disminuir la concentración de sulfatos de 26.9 a 20 mM con una producción de 26 mM de sulfuro.

**Buisman et al. (1996)** los sistemas de tratamiento de DAM con BSR no han permanecido a escala laboratorio, desde 1990 se han puesto en marcha varias plantas

piloto en distintas partes del mundo. Barnes et al. (1991) señala que una de las primeras plantas fue montada en Holanda; con una capacidad de 9m<sup>3</sup> y funcionó por 2 años, demostrando que los metales presentes en concentraciones de hasta 1 g/L podían ser removidos. Según Dvorak et al. (1992) en Pensilvania, Estados Unidos, se instaló una planta piloto, cuyos reactores fueron llenados con una mezcla de abono, heno, paja, mazorcas de maíz y trozos de madera, logró una remoción de Al, Cd, Fe, Mn, Ni y Zn del 95%. Sin embargo, Kilborn Inc., (1996) resalta que el rendimiento de las plantas piloto puede estar influenciado por las características ambientales del lugar en que este sea instalado.

**Bioteq y Phelps Dodge Corporation 2004**, firmaron un Acuerdo de Operación para la construcción y operación de una planta de BioSulfuro para la recuperación de cobre del drenaje ácido de mina procedente de los botaderos de la Mina Bisbee en Arizona. El costo de capital estimado, sin contingencia fue US\$1.9 millones. Sin embargo, para minimizar los costos de operación de las plantas piloto es importante el uso de materiales de bajo costo. Varios desechos orgánicos han sido utilizados como donadores de electrones para la producción de sulfuro biogénico, Béchard et al. (1994) emplearon paja y heno, Wakao et al., (1979) utilizaron aserrín, Dvorak et al. (1992) utilizaron abono de champiñones, Prasad et al. (1999) emplearon hojas y lodo de aguas residuales, Chang et al. (2000) emplearon abono de champiñones, trozos de roble, periódico y lodo, Cocos et al. (2002) emplearon hojas, trozos de madera y excremento de aves de corral, y Frommichen et al. (2003) utilizaron paja de trigo.

## **1.2. PROBLEMA**

### **1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Muchas de las actividades humanas tienen consecuencias negativas sobre los recursos naturales, dentro de estas existen una gran cantidad de contaminantes ambientales entre los principales (por el impacto que tienen en el ambiente y la salud) se encuentran los drenajes ácidos de mina.

Siendo Ancash, el departamento con más pasivos ambientales dentro de nuestro territorio peruano según el Ministerio de Energía y Minas son 1251 pasivos ambientales al año 2015, producto de empresas mineras, las cuales explotan la zona minera para luego abandonarlas sin medidas de remediación del lugar, tal como señala la Ley N° 28271, Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera, se debe realizar en la zona, esto trae consigo riesgos permanentes a la salud de la población y efectos negativos a los ambientes acuáticos y terrestres involucrados a estos, tal es el caso del pasivo ambiental dejado por las actividades de la minera NUNCIA, el cual se encuentra ubicada en el Distrito de Carhuac, Provincia de Carhuaz. Nuncia empresa minera contaba con un yacimiento tipo polimetálico donde se extraía el cobre, la plata y el zinc hasta 1998, año en que la empresa minera dejó de realizar actividades específicamente en la quebrada Pachacc ubicada a 10 minutos del pueblo de Carhuac, dejando expuestas gran cantidad de rocas las cuales acompañados de procesos químicos dieron lugar a lo que se denomina drenaje ácido de mina la cual se magnifica en época de lluvia por infiltración teniendo más aun el Callejón de Huaylas temporadas prolongadas de lluvia que van desde septiembre hasta febrero aproximadamente es en este lugar en donde se aplicara la metodología de investigación .

Ante esto la población denunció el caso al observar la coloración marrón rojiza del agua que drena por la quebrada Pachacc hasta encontrarse con el río Santa.

Dicha coloración como se aprecia en las fotografías tomadas en la zona del drenaje ubicada en la parte baja de la minera y adyacentes al curso de agua de la quebrada es por la presencia de metales en el agua como el hierro (Fe), cobre (Cu), Aluminio (Al), etc.

Encontrándose después de un previo muestreo de agua y posterior análisis de las muestras en la ciudad de Lima por el laboratorio SAG acreditado por Inacal , cifras elevadas de concentraciones de Cobre (Cu) el punto de monitoreo denominado PM 3 con 0.63 mg/l parámetro el cual está por encima de los LMP ( límite máximo permisibles) para descargas de agua provenientes de la actividad minera la cual señala como límite máximo 0.5 mg/l , motivo por el cual se necesita implementar un tratamiento para disminuir su concentración y de los demás metales en solución.

Con esta investigación denominado propuesta de mejoramiento de la calidad de las aguas acidas que drenan del pasivo ambiental de la minera Nuncia mediante el uso de bacterias sulfato reductoras se busca que el mismo poblador afectado pueda aplicar este método de tratamiento y así mejorar la calidad del agua y por ende su calidad de vida.

Tabla N° 1  
Pasivos ambientales en el Perú.

N° ORDEN	REGION	PASIVOS
1°	ANCASH	1202 (15.8 %)
2°	CAJAMARCA	1022 (13.5 %)
3°	HUANCAVELICA	831 (11%)
4°	PUNO	621
5°	LIMA	528
6°	CUSCO	507
7°	LA LIBERTAD	503
8°	JUNIN	502
9°	PASCO	429
10°	AREQUIPA	331
11°	HUANUCO	313
12°	AMAZONAS	157
13°	APURIMAC	149
14°	ICA	132
15°	MOQUEGUA	124
16°	AYACUCHO	111
17°	TACNA	69
18°	MADRE DE DIOS	22
19°	PIURA	14
20°	LAMBAYEQUE	8
21°	SAN MARTIN	1
<b>TOTAL</b>		<b>7576</b>

Fuente: Ministerio de energía y minas -2015.

## **1.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **A.- PROBLEMA PRINCIPAL**

¿De qué manera influye el tratamiento de aguas ácidas mediante el uso de bacterias sulfato-reductoras al mejoramiento de la calidad de las aguas acidas que drenan del pasivo ambiental de la minera Nuncia?

### **B.- PROBLEMAS SECUNDARIOS**

- ¿De qué manera se caracteriza el drenaje acido de mina?
- ¿Qué materiales orgánicos de la zona de estudio presentan potencial de remediación del agua acida de mina?
- ¿cuál será la eficiencia de la columna de tratamiento planteada en la mejora de la calidad de las aguas acidas de mina, con el uso de bacterias reductoras de sulfato

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO PRINCIPAL**

Proponer como alternativa de tratamiento de aguas ácidas, el uso de Bacterias Sulfato Reductoras mediante un sistema biológico con la finalidad de reducir la concentración de contaminantes.

#### **1.3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS**

- Caracterizar el drenaje ácido del pasivo ambiental dejado por la minera Nuncia.
- Identificar materiales orgánicos de la zona de estudio con posible potencial remediador del agua ácida de mina.
- Verificar la eficiencia de la columna de tratamiento en la mejora de la calidad de las aguas ácidas con el uso de bacterias reductoras de sulfato.

### **1.4. HIPÓTESIS**

La implementación de un sistema de tratamiento de aguas ácidas de mina, aplicando el método de bacterias sulfato reductoras mejorará la calidad del agua que drena del pasivo ambiental de la minera Nuncia, haciéndola apta para la agricultura y bebida de animales además de reducir sus impactos ambientales al recurso hídrico, suelo y flora.

## 1.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla N° 2

*Variables dependientes.*

<b>VARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>
% reducción de sulfatos	Concentraciones iniciales de sulfatos, Cu +2 del DAM.
% de reducción de metales pesados (Cu)	Concentraciones iniciales de sulfatos, Cu +2 del DAM tratada con el método de biológico.

*Fuente:* Elaboración propia.

Tabla N° 3

*Variables Independientes.*

<b>VARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>
Actividad de las bacterias sulfato reductoras(BSR)	Población de las bacterias sulfato reductoras.  Ph, Acidez  Potencial de oxido - reducción (Eh).

*Fuente:* Elaboración propia.

## **1.6. JUSTIFICACIÓN**

El agua es uno de los recursos de mayor importancia por ser fuente de vida de animales y plantas, pero además es vulnerable a ser contaminada con facilidad por diversas formas, tales como las naturales y antrópicas, no permitiendo el desarrollo de los pueblos afectados en cuanto a la agricultura, ganadería y uso consuntivo, en tal forma se dan a conocer las justificaciones:

### **1.6.1 Justificación Legal**

La justificación legal de la investigación es que las aguas ácidas que drenan del pasivo ambiental de la minera Nuncia se adecuen a la Ley N° 28611- Ley General del Medio Ambiente en el Perú, así como el Decreto Supremo 010-2010-MINAM, el cual señala los límites máximos para las descargas de efluentes del sector minero-metalúrgico al cuerpo receptor que para el estudio son las aguas que bajan por la Quebrada Pacchac.

### **1.6.2 Justificación Social**

La justificación social se da por la necesidad de la población de Carhuac, aledaña a la zona del drenaje ácido a mejorar su calidad de vida.

El mejoramiento de la calidad de las aguas, aumentará la producción de la tuna, principal producto de la población el cual el 80% de la población dedica su tiempo.

Además de servir de bebida de animales y disminuir los casos de contaminación en la población por la ingesta o contacto de estas aguas.

### **1.6.3 Justificación Técnico-Científica**

Poner en marcha un proceso experimental para la descontaminación de aguas acidas con tecnología totalmente ecológica.

### **1.6.4 Justificación ecológica**

La justificación ecológica se da para salvaguardar la sobrevivencia de especies en peligro, ya que al tratar estas aguas se garantiza un ambiente adecuado para su sobrevivencia tal es el caso de especies como la trucha, pejerrey, etc.

## **1.7. IMPORTANCIA**

Las aguas ácidas productos de un pasivo ambiental minero es un grave problema ambiental que afecta a toda zona en donde se realizó la actividad minera en nuestro país, más aún, estando estas zonas ubicadas en su mayoría en la región sierra en donde las lluvias son prolongadas e intensas aumentando el volumen de los drenajes y por lo tanto su impacto al ecosistema y población.

En tal forma se consideró importante porque:

- Nos ayudara a cuantificar y clasificar el contenido de metales en los drenajes de aguas acidas del pasivo ambiental de la mina Nuncia.
- El uso de tecnologías limpias, sin alto costo de instalación nos permitiría reducir los impactos negativos a la calidad del agua como fuente de vida en el ecosistema fluvial.
- Poner en marcha un proceso experimental para la descontaminación de aguas acidas con tecnología totalmente ecológica.

- Hacer que esta investigación, en caso los resultados sean favorables, sea utilizada como ejemplo para ser instalada en diversos lugares como también base para buscar otras alternativas de filtros naturales, tomando esta como una referencia para futuras investigaciones.
- Mejorar la calidad del agua de esta manera no se afecte a los demás recursos ni a las personas que hagan uso de estas aguas o estén contacto directo con ellas.
- Adecuar a los parámetros del agua a la normativa vigente.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL**

El Perú es un país rico en recursos naturales y así lo dan saber nuestras cifras en cuanto a disponibilidad hídrica a nivel mundial ocupando el puesto 8 con aproximadamente 1,89% del total mundial de agua superficial según el ANA (2015).

No obstante, en la actualidad este recurso tan importante se ha ido deteriorando a causa de las actividades extractiva del hombre teniendo como a la principal fuente de contaminación a la actividad minera en nuestro país, la cual es importante ya que la economía del país tiene alta dependencia en ella. Sin embargo, como cualquier actividad productiva, influye en alguna medida con alteraciones al medio ambiente.

Un efecto ambiental importante de esta actividad económica, es la gran generación de desechos, constituidos por los relaves de procesamiento de minerales, que además de ocupar grandes espacios geográficos, presentan el riesgo potencial de generación de ácido. El ácido que se pueda generar, ingresa en un ciclo de disolución de elementos químicos que significarían la contaminación de efluentes acuosos especialmente.

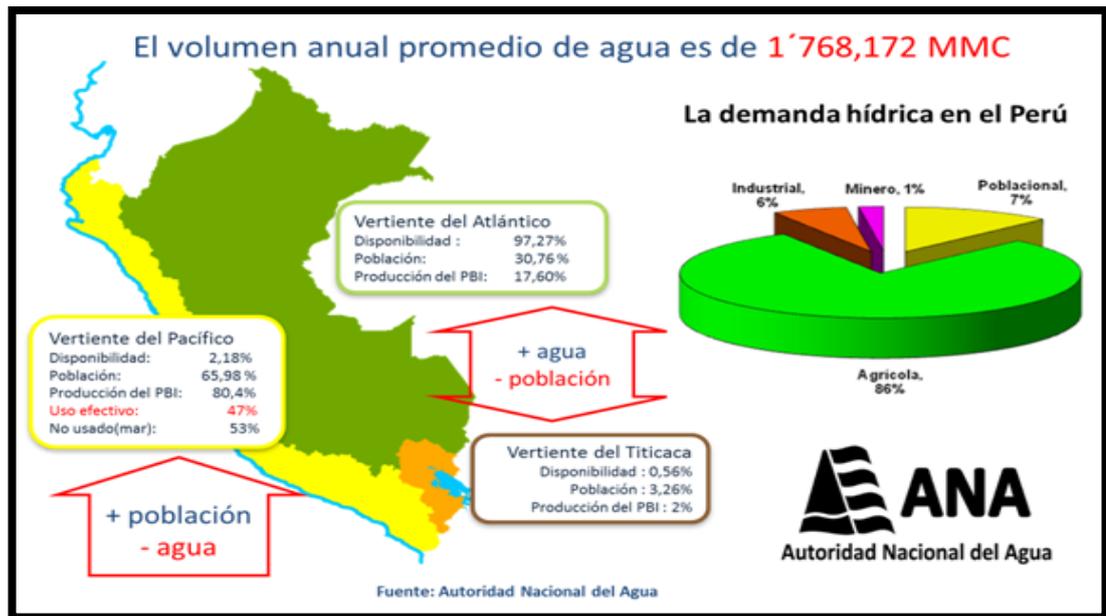


Figura 1. Disponibilidad hídrica en el Perú.

Fuente: ANA-Autoridad nacional del agua (2015).

## 2.1. MINERÍA Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA

El agua que sale del altiplano andino sirve como depósito de agua que sustenta a la población aguas abajo y permite el desarrollo de actividades agrícolas (Bebbington y Williams 2008, p. 191). No obstante, el altiplano andino también puede incluir dentro de sus ventajas comparativas la riqueza geológica que se concentra principalmente en la cordillera de los Andes (Comunidad Andina 2010, p. 25). El desarrollo de actividades mineras requiere volúmenes grandes de agua durante los procesos de extracción y procesamiento de minerales. Sumado a ello, la mayoría de estas actividades se concentra en las cuencas altas de los ríos y su mal manejo afecta negativamente la calidad del agua y repercute en toda la cuenca llevando aguas abajo la contaminación o las especies contaminadas, extendiéndose a través del tiempo, espacio y persistiendo por varias generaciones (Bebbington, Humphreys Bebbington

y Bury 2010, p. 307, Preciado 2011, p. 214, Sabogal 2009, p. 10). El desarrollo de actividades mineras no solo afecta la calidad de agua y sus funciones ecosistémicas sino también los derechos y las relaciones sociales y culturales en torno al recurso hídrico (Orlove y Caton 2010, p. 402, Urteaga 2011, p. 10). Los impactos en la calidad y cantidad de agua están entre los aspectos más polémicos de los proyectos mineros. Algunos expertos calculan que más de la mitad de comunidades campesinas en el Perú han sido afectadas por actividades mineras. Se ha estimado que cada año la minería y la metalurgia liberan 13 000 Mm<sup>3</sup> de efluentes en cursos de agua de Perú (Bebbington y Williams 2008, p. 191). Consecuentemente, a pesar de la atracción por los posibles beneficios económicos de la minería, las poblaciones también se preocupan por los potenciales efectos negativos al medio ambiente y las implicaciones para la subsistencia, el consumo, el bienestar y la salud. Muchas organizaciones no gubernamentales, comités ambientales comunitarios y civiles, y la Defensoría del Pueblo expresan significativa preocupación por el agua y la minería, aunque las políticas de los gobiernos han fomentado el rápido crecimiento de la inversión minera. Otro factor importante es la ausencia de información clara, fiable, transparente e independiente sobre la naturaleza de los riesgos de la actividad minera. La larga historia corporativa de malas prácticas ambientales (pasivos ambientales mineros) y de la débil regulación del Estado han dejado comunidades que desconfían del gobierno central y las compañías mineras (Bebbington y Williams 2008, p. 191-192, Bebbington, Humphreys Bebbington y Bury 2010, p. 308-309).

El uso del agua en la industria minera ha crecido a medida que la producción mundial se ha incrementado. El orden de magnitud del consumo de agua en actividades mineras realizadas en Perú es ca. 206,8 Mm<sup>3</sup> /año, de los cuales 73 % se

consume en la cuenca del Pacífico y 26 % en la cuenca del Atlántico. El restante 1 % se usa en la cuenca del lago Titicaca (Kuroiwa 2012, p. 410). Existen, sin duda, acciones industriales que no se destacan por el alto consumo de recursos hídricos en el proceso productivo, pero que sí lo hacen por los daños generados mediante la contaminación de las fuentes hídricas (Isch 2011, p. 102). En esta línea, la Autoridad Nacional de Agua (ANA), menciona lo siguiente:

La actividad minera se ha constituido en un factor preocupante de la gestión del agua en las cuencas, no por el volumen de demanda, que es relativamente pequeño [2 % a nivel nacional], sino por el alto riesgo de su contaminación debido a los vertimientos resultantes del procesamiento de los minerales. Este temor se funda en la mala experiencia con antiguas minas, hoy convertidas en pasivos ambientales diseminados por todo el país (ANA 2009, p. 65).

## **2.2. PASIVOS AMBIENTALES MINEROS**

**Pasivos Ambientales Mineros (PAMs):** Son aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad (Art. 2° de la Ley N° 28271, que es la Ley que regula los pasivos ambientales en el sector Minero).

**Tipos y subtipos de PAMs:** Se consideran 3 tipos de PAMs según el Ministerio de Energía y Minas del Perú, además de más de 10 subtipos.

Tabla N° 4

*Tipos y subtipos de PAMs*

<b>TIPO</b>	<b>SUBTIPO</b>
<b>Labor minera</b>	Bocaminas, chimeneas, piques, tajos comunicados, trincheras y tajos abiertos.
<b>Residuo minero</b>	Relaves, desmontes de mina, botaderos de lixiviación.
<b>Infraestructura</b>	Campamentos, oficinas, talleres, plantas de procesamiento y otras instalaciones relacionadas con el proyecto minero.

*Fuente:* Ministerio de Energía y Minas -2015.

**Etapas de la remediación del PAMs.** Comprende dos etapas:

**a) Remediación :** Ejecución de actividades contempladas en el Plan de Cierre que comprende: diseños de ingeniería requeridos para el desmantelamiento; demoliciones; estudios in-situ para la disposición final y/o el rescate de materiales; estabilización física, geoquímica e hidrológica; restablecimiento de la forma del terreno; revegetación; rehabilitación de hábitats acuáticos; rehabilitación de las áreas de préstamo; provisiones para brindar servicios esenciales a la comunidad; transferencia de propiedad; acceso a las tierras; entre otros (Ministerio de Energía y Minas - 2015).

**b) Post Cierre:** El cierre es seguido de un programa de mantenimiento, monitoreo y seguimiento post cierre, con la finalidad de medir la efectividad del cierre. Para ello el titular del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros está obligado a continuar desarrollando las medidas de tratamiento de efluentes y emisiones,

monitoreo, mantenimiento o vigilancia que corresponda, de acuerdo con el Plan de Cierre aprobado por la autoridad competente por un período mínimo de cinco años después del cierre del mismo (Ministerio de Energía y Minas - 2015).

### **2.3. RIESGOS Y DAÑOS AMBIENTALES**

Un PAM constituye un potencial riesgo de contaminación ambiental, y también, un riesgo para la salud humana y animal, y la pérdida de bienes y servicios ambientales.

Existen PAMs que contaminan fuentes de agua superficial y subterránea, suelos y el aire de sus alrededores, y otros que han causado daños ambientales, pero el Estado aún no cuenta con adecuados mecanismos y estrategias para su atención. Cabe mencionar que la Ley General del Ambiente define daño ambiental como “todo menoscabo material que sufre el ambiente y/o alguno de sus componentes, que puede ser causado contraviniendo o no disposición jurídica, y que genera efectos negativos actuales o potenciales” (Artículo 142.2). Se entiende como sus componentes a los elementos físicos, químicos y biológicos de origen natural o antropogénico que, en forma individual o asociada, conforman el medio en el que se desarrolla la vida.

Para los daños ambientales generados por los PAMs no existe un marco legal de indemnización o reparación. Lo que se viene desarrollando son instrumentos de prevención, remediación y compensación. Un determinado PAM causa diferentes efectos negativos.

Tabla N° 5  
Efectos asociados a los PAMs

Tipo de pasivo	Inestabilidad física	Drenaje ácido	Infiltración	Emisión de polvo	Sedimentos (en agua y suelos)	Riesgo de accidentes
Depósitos de relaves	X	X	X	X	X	
Botaderos de desmonte	X	X	X	X	X	
Botaderos de lixiviación	X	X	X	X	X	
Labores abandonadas	X	X	X			X
Edificaciones e instalaciones				X	X	X

Fuente: Ministerio de Energía y Minas -2015.

Además, los eventos extraordinarios como las lluvias intensas, el fenómeno El Niño y los sismos podrían agravar los daños ambientales de los PAMs de no tomarse acciones desde ahora. Recordemos que para el caso de las presas de relave, diversos estudios señalan, que es probable que muchas presas de relaves en el país presenten la posibilidad de fallar ante la ocurrencia de sismos, debido, en unos casos, a su construcción empírica, o, en otros casos, a que en el cálculo de diseño no se ha considerado el factor de sismicidad o están sobre su capacidad de almacenamiento; por lo que, esperemos no ocurra desastres, como el de 1952 en Casapalca, región Lima, que provocó pérdidas de numerosas vidas humanas y contaminación del río

Rímac; o el de San Nicolás, en Cajamarca, que en 1980, a causa de la deficiencia en la construcción, provocó contaminación del río Tingo y daños a la agricultura.

### **Contaminación de aguas superficiales y subterráneas:**

El mayor riesgo ambiental de los PAMs es la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. La contaminación de las aguas se debe a liberación de contaminantes tóxicos contenidos en los residuos mineros y desde las obras mineras, los tajos abiertos y los socavones entre otros. Existen diferentes fuentes y mecanismos de liberación de estos contaminantes. El potencial de liberación de estos elementos y el riesgo asociado dependen de las condiciones específicas del sitio, incluyendo el diseño y la operación de la extracción, del procesamiento, la gestión de los residuos, la calidad de las medidas de mitigación, aspectos ambientales como el clima y la cercanía a posibles receptores. Los principales mecanismos de transporte a las aguas superficiales y subterráneas son las descargas directas de las aguas de proceso, las aguas de mina, el escurrimiento superficial y la infiltración. Impactos adversos también al agua superficial lo conforman la descarga superficial de sedimentos contaminados, la reducción del pH, la destrucción de ecosistemas hídricos y la contaminación del agua potable.

La presencia de sulfuros en los residuos mineros y en las labores abiertas y la consecuente formación de drenajes ácidos de mina (DAM) con altos contenidos de metales pesados y arsénico han sido reconocidos ampliamente como uno de los grandes problemas ambientales no solo en el Perú sino en muchas regiones en el mundo. La formación de Drenaje Acido de Mina (DAM) se debe a la oxidación de minerales sulfúricos en presencia del agua y oxígeno, reaccionando para formar

ácidos sulfúricos que fácilmente disuelven metales tales como el hierro, el cobre el aluminio y el plomo. Este proceso puede ser natural, pero el desarrollo minero puede acelerar en gran medida la velocidad a la que se producen tales reacciones que finalmente generaran procesos contaminantes adversos principalmente para los cursos de aguas. Las aguas superficiales se pueden contaminar debido a la erosión y descarga de sedimentos y materiales provenientes de los tajos abiertos, pilas de lixiviación, tanques de relaves, desmontes, etc. hacia los cuerpos acuáticos. Una alta o elevada concentración de sedimentos o una concentración elevada de contaminantes en el sedimento en el agua pueden producir efectos adversos a la vida acuática. Las aguas subterráneas pueden verse afectadas por los impactos que emanan de los pasivos. Existen diferentes vías de influencia el cual es más obvio ocurre en las minas que llegan y sobrepasan el nivel freático donde se abre un conducto directo con las aguas subterráneas. Pero también la infiltración natural de las aguas con las aguas de proceso de mina representa una fuente común de contaminación de las aguas subterráneas. Una contaminación también puede ocurrir cuando existe una conexión hidráulica entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas. Existe un riesgo de que los pasivos puedan alterar el régimen hidrológico debido a labores mineras como socavones ya que el flujo del agua subterránea podría verse afectado además de la ruptura de estratos impermeables. Por otro lado, en las actuales operaciones, el uso de sustancias químicas conteniendo cianuro y mercurio también resulta un potencial riesgo ambiental, por lo que se deben tomar las medidas correspondientes para no dejar PAMs de alto riesgo (Ministerio de Energía y Minas - 2015).

#### **2.4. DRENAJE ACIDO DE MINA (DAM):**

**Atencio, Earnest (2000)**, El drenaje ácido generado por las actividades mineras es el motivo principal de preocupación en muchas minas de metales, ya que metales como el oro, cobre, plata y molibdeno, son frecuentemente encontrados en rocas que contienen también minerales de sulfuro. Cuando los sulfuros presentes en las rocas que son excavadas por las actividades mineras, se dejan expuestos a la intemperie, y entran en contacto con el agua y aire, reaccionan formando ácido sulfúrico. El agua acidificada con el ácido sulfúrico, puede disolver a su vez otros metales tóxicos que también se encuentran en las rocas. Si esto no se controla, el drenaje ácido de las minas corre y llega a los arroyos o ríos o se infiltra en los acuíferos contaminándolos. El drenaje ácido puede ser generado de cualquier parte de la mina donde haya sulfuros expuestos al aire y el agua, esto incluye las pilas de rocas de desecho o roca estéril conocidas como “terreros” o “tepetates”, las presas de jales, el tajo, los túneles subterráneos o de derrames desde los estanques de lixiviación.

Al entrar, los relaves sulfurosos, en contacto con las fuentes acuosas del medio, se producen reacciones de oxidación rápidas que aumentan la acidez del agua y provocan una contaminación fuerte. La problemática actual del DAM se concentra principalmente en las minas que ya cerraron operación (clausuradas), las cuales dejaron grandes cantidades de relaveras y desechos mezclados con el medio ambiente; estas relaveras dañan el sistema natural de aguas de los puntos cercanos y presentan una problemática actual significativa debido a que la designación de responsables es muy ambigua e incierta, esto se da en incontables casos en minas antiguas del centro del país (Cerro de Pasco y Junín).



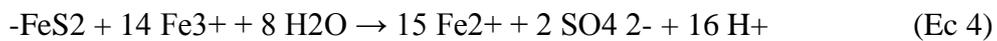
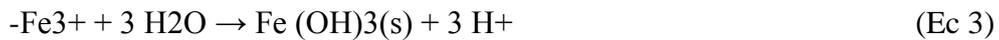
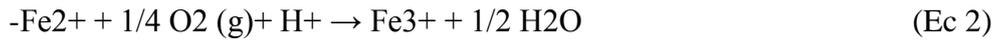
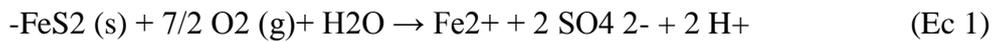
*Figura 2.* Drenaje ácido de mina.

*Fuente:* Quimtia industrial-Medio ambiente (2011).

## **2.5. MECANISMOS DE GENERACIÓN DE AGUAS ACIDAS:**

El proceso de oxidación de la pirita es el principal responsable de la formación de aguas ácidas (Nordstrom y Alpers, 1999); esta oxidación se ve favorecida en áreas mineras debido a la facilidad con la que el aire entra en contacto con los sulfuros -a través de las labores mineras de acceso y por los poros existentes en las pilas de estériles y residuos- así como al incremento de la superficie de contacto de las partículas. Los mencionados autores consideran, que el volumen, la concentración, el tamaño de grano y la repartición espacial de la pirita, son los factores que más afectan a la generación de aguas ácidas.

Las reacciones que intervienen en la oxidación de la pirita pueden ser representadas por las siguientes cuatro ecuaciones (Skousen et al., 1998; Nordstron y Alpers, 1999; Mills, 1999; USEPA, 1996 y 2000; entre otros). Se ven las siguientes ecuaciones:



Observamos la reacción de oxidación de la pirita (1) se produce  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{H}^+$ . Esta reacción provoca un incremento en el total de sólidos disueltos y un aumento de la acidez, que irá asociado a una disminución del pH, a menos que sea neutralizada la acidez generada. Si el ambiente circundante es lo suficientemente oxidante, entonces muchos iones ferrosos se oxidarán a iones férricos (etapa 2). Por lo general, por encima de un pH alrededor de 3, el ion férrico formado precipita mediante hidrólisis como hidróxido (3), disminuyendo por tanto el  $\text{Fe}^{3+}$  en solución, mientras que el pH baja simultáneamente. Por último, algunos cationes férricos ( $\text{Fe}^{3+}$ ) que se mantienen en solución, pueden seguir oxidando adicionalmente a la pirita y formar  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{H}^+$  (4).

Cinéticamente, la oxidación de la pirita (1) en un principio es un proceso lento, que acaba con el hierro liberado precipitado como hidróxido (3) al ser todavía relativamente alto el pH. Progresivamente la capacidad neutralizadora del medio va disminuyendo, y al alcanzar el pH el valor de 3,5 ya deja de formarse el hidróxido y la actividad del  $\text{Fe}^{3+}$  en solución se incrementa. A este pH, además, las bacterias

catalizan y aceleran la oxidación de  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$  (2) en varios órdenes de magnitud. Es entonces cuando la reacción (4) de oxidación de la pirita por el  $\text{Fe}^{3+}$  empieza a tener lugar, siendo la causa de la rápida oxidación de la pirita a pH ácido. La geoquímica de las aguas ácidas de mina es un fenómeno complejo al haber diversos procesos físicos, químicos y biológicos jugando un papel importante en la producción, liberación, movilidad y atenuación de los contaminantes. En el trabajo de Nordstrom y Alpers (1999) se presenta una relación exhaustiva de procesos específicos que se han estudiado y se ha comprobado que contribuyen en su conjunto en la geoquímica de las aguas ácidas de mina, estos procesos son los siguientes: 1) la oxidación de la pirita, 2) la oxidación de otros sulfuros, 3) la hidrólisis y oxidación del metal hierro en su forma disuelta además otros metales, 4) la capacidad neutralizadora de la ganga mineral y roca encajante, 5) la capacidad neutralizadora de las aguas bicarbonatadas, 6) la disponibilidad de oxígeno, 7) la disponibilidad de agua líquida o en forma vapor, 8) la localización y forma de zonas permeables en relación con las vías de flujo, 9) las variaciones climáticas (diarias, estacionales o episodios de tormentas), 10) la formación de eflorcencias y su redisolución, 11) el calentamiento por conducción y radiación del calor generado en diversas reacciones exotérmicas (oxidación de la pirita, disolución de sales solubles y la dilución de un ácido concentrado), 12) la temperatura, 13) la acción de catálisis de las bacterias, 14) la adsorción microbiana de metales, 15) la precipitación y disolución de minerales durante el transporte, 16) adsorción y desorción de metales durante el transporte, 17) fotoreducción del hierro, 18) la formación de complejos orgánicos, y 19) los procesos microambientales sobre superficies o entorno a organismos.

La importancia que tiene el problema de la formación de aguas ácidas ha llevado a desarrollar y establecer una serie de ensayos capaces de determinar el potencial generador de acidez de los residuos mineros. La USEPA (1994) en un documento técnico sobre predicción de drenajes ácidos de mina hace un análisis de cada uno de los tipos de ensayos empleados en la predicción del potencial generador de ácido: estáticos, cinéticos y modelos matemáticos. Los ensayos estáticos predicen la calidad de los drenajes mediante la comparación entre la capacidad de neutralización y el potencial de generación ácida. Los ensayos cinéticos se basan en reproducir en laboratorio los procesos y las condiciones de los lugares de mina que pueden generar acidez, dando información sobre el rango de producción ácida; estos ensayos conducen a confirmar los resultados de los ensayos estáticos, requieren de mayor tiempo y son más costosos que éstos. Por último, la modelización matemática permite predecir la calidad de las aguas y la generación ácida de los drenajes, mediante la simulación para largos períodos de tiempo de todas las variables y condiciones que afectan a la formación de drenajes ácidos de mina.

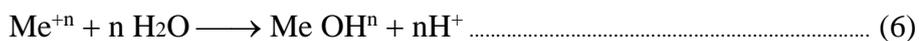
## **2.6. CARACTERIZACIÓN DE LOS DRENAJES ÁCIDOS DE MINA**

La caracterización precisa del drenaje ácido de mina es muy importante para efectuar la correcta selección y dimensionamiento de los dispositivos operacionales que configuran el conjunto del tratamiento pasivo. Una adecuada caracterización debe incluir la medida precisa y representativa del caudal, y de al menos los parámetros químicos siguientes: pH in situ, pH en laboratorio alcalinidad total, acidez o alcalinidad neta (expresadas todas como  $\text{CaCO}_3$ ); además de contenidos de  $\text{Fe}^{2+}$ , Fe total, Al, Mn,  $\text{SO}_4 =$  y conductividad (Hyman y Watzlaf, 1995). Estos autores

consideran deseable analizar también el Ca, Mg, Na, Cl, K, Br y Zn, lo que permite en la mayoría de los casos efectuar un correcto balance iónico. El conjunto de estas medidas se ha de registrar al menos durante un año hidrológico. La “acidez” y la “alcalinidad” de un drenaje ácido de mina son parámetros básicos en la selección del tipo de tratamiento pasivo; representan la capacidad de esas aguas para neutralizar una base o un ácido. Que una solución presente acidez o alcalinidad está en función de que predomine en ella su acidez total o su alcalinidad total, hablándose entonces con más precisión de soluciones con acidez o alcalinidad neta.

$$\text{Acidez/alcalinidad neta} = \text{acidez total} - \text{alcalinidad total} \dots\dots\dots (5)$$

La acidez total representa la concentración de iones hidrógeno libres (los que definen el pH), junto con los iones hidrógeno que se pueden generar por la oxidación e hidrólisis de los metales que contiene la solución, tales como Fe, Al, Mn, Zn, etc., a través de la reacción:



En la práctica, lo que se mide en el laboratorio es la acidez neta y la alcalinidad total, deduciéndose la acidez total mediante la ecuación (5). La acidez y la alcalinidad se suelen medir como equivalentes de CaCO<sub>3</sub>. La acidez medida en el laboratorio generalmente representa la acidez neta, ya que se suele efectuar la valoración con CaCO<sub>3</sub> después de haber añadido H<sub>2</sub>O<sup>2</sup> y calentado la muestra para promover la total oxidación e hidrólisis de todos los metales. La acidez total teórica puede ser calculada si se conoce el pH y la concentración de cada uno de los cationes que generan acidez. La acidez total sería la suma de la acidez atribuible a los iones H<sup>+</sup> y

la potencial de los cationes metálicos ( $\text{Me}^{+n}$ ). El cálculo se hace mediante la fórmula siguiente considerando que la reacción transcurre equivalente a equivalente:

$$\text{Acidez total equivalente CaCO}_3 \text{ (mg/L)} = \sum \text{Me}^{+n} \text{ (mg/L)} \cdot (50,045 / \text{PaMe}) \cdot n(7)$$

donde:

PaMe: Peso atómico del metal y 50,045 es un factor de conversión resultado de dividir el  $\text{PmCaCO}_3$  por su valencia.

En el caso del pH se tiene que la concentración de iones  $\text{H}^+$  es igual a  $10^{-\text{pH}}$ . Hay que tener en cuenta que la acidez total así calculada no considera el efecto de los iones complejos, frecuentes a pH neutros, y que no producen acidez. Al estar contabilizados los cationes de estos complejos en un análisis químico convencional se puede presentar diferencias entre la acidez total teórica y la deducida usando la ecuación (5). La alcalinidad total de una solución generalmente está representada por los iones hidróxido y bicarbonato, y se suele medir directamente en laboratorio. Que un drenaje ácido de mina presente alcalinidad neta significa que una vez que se ha llevado a cabo la oxidación e hidrólisis de los metales que pueden generar iones hidrógeno libres aún presenta cierta capacidad para neutralizar cierto volumen de un ácido.

### **Control del drenaje ácido de minas**

El control del drenaje ácido en el sector minero, tiene como métodos las siguientes categorías:

- Métodos de prevención o Primarios.
- Métodos de contención o Secundarios.
- Métodos de remediación o Terciarios.

## **Métodos preventivos**

El objeto de los métodos preventivos es detener o reducir drásticamente la velocidad de la generación de ácido. Esto se puede realizar, impidiendo el contacto de los sulfuros con el agua o el aire, o ambos, eliminando las bacterias responsables de la catálisis de las reacciones o controlando otros factores que influyan sobre las reacciones, tal como el pH, por adición de álcali al sistema. Dentro de esta categoría se encuentran los siguientes métodos:

- Remoción de sulfuros/aislamiento
- Exclusión del oxígeno por recubrimiento con agua
- Cubiertas de agua en estructuras de contención 20
- Disposición en lagos naturales
- Disposición de relaves en el mar
- Cubiertas de agua soportadas biológicamente
- Exclusión del oxígeno por cubiertas secas y selladas
- Cubiertas orgánicas
- Aditivos Alcalinos
- Bactericidas

En la siguiente tabla se resumen algunos de los métodos preventivos de formación de drenajes ácidos de mina (Ministerio de Energía y Minas -2015).

Tabla N° 6

*Métodos preventivos de formación de DAM*

MÉTODO	OBJETIVO	MEDIDA DE CONTROL
Barrera	Eliminación o aislamiento de sulfuros	Acondicionamiento e impermeabilización de los estériles y residuos
		Retirada física de los sulfuros
		Revegetación de terrenos biolixiviación
	Exclusión del agua	Cunetas de desvío del agua
		Remodelado de la superficie
		Recubrimiento y sellado
	Exclusión del oxígeno	Depósitos subacuáticos (inundación)
		Recubrimiento y sellado
Químico	Control del pH	Adición de materiales alcalinos y fosfatos
		Empleo de dispositivos rellenos con material carbonatado
		Mezcla de los materiales ácido/base y vertido selectivo
Inhibición bacteriana	Control y supresión de la acción bacteriana	Aplicación de bactericidas
		Adición de fosfatos

*Fuente:* Ministerio de Energía y Minas -2015.

**Métodos de contención**

Son aquellos que van a minimizar la migración de drenajes ácidos de mina hacia el ambiente. Se utilizarán fundamentalmente para el proceso de remover los iones metálicos que se emanan al ambiente. Se pueden señalar los siguientes métodos:

- Desviación del agua superficial.
- Interceptación de aguas subterráneas.
- Reducción de infiltración (Ministerio de Energía y Minas -2015).

## **Métodos de remediación**

Constituyen el tercer nivel de control y su objeto es recolectar y tratar el drenaje contaminado. Los métodos pueden ser:

- a) Sistemas activos, los cuales requieren operaciones continuas como una planta de tratamiento químico.
- b) Sistemas pasivos, los cuales funcionan sin un ajustado control. Los tratamientos químicos ofrecen un método seguro de corto término, pero no sirven para minas redundantes. En estos casos, los sistemas de tratamiento pasivo son considerados como una alternativa (Ministerio de Energía y Minas -2015).

## **2.7. EFECTOS DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINA**

Como se mencionó líneas arriba, la oxidación de los minerales sulfurados (como la pirita) promueve la creación de ácido sulfúrico que posteriormente favorece la liberación de toda una gama de metales y metaloides. Como resultado, el drenaje ácido de mina contiene altas concentraciones de ácido y metales disueltos. Cuando esta mezcla tóxica fluye en el agua subterránea, los riachuelos y ríos, desencadena muchos problemas ambientales: destruye ecosistemas, y, principalmente, contamina el agua en regiones donde el agua dulce es un recurso limitado.

### **Efectos del drenaje ácido de mina en la salud humana**

En relación con los humanos y animales, el peligro de los metales y metaloides como contaminantes en el agua está expresado de dos maneras. Primero, los metales y metaloides tienen la capacidad de persistir en los ecosistemas por un largo periodo. Segundo, ellos pueden acumularse en niveles superiores de la red trófica, y causar así

enfermedades graves y crónicas. En general, la toxicidad o envenenamiento por metales y metaloides resulta de la perturbación de las funciones metabólicas. Estas sustancias tóxicas se acumulan en órganos vitales y glándulas como el corazón, cerebro, riñones, huesos e hígado, perturban sus funciones, e inhiben la absorción, interfieren o desplazan los minerales nutricionales vitales de su lugar original; de este modo, entorpecen sus funciones fisiológicas (Akport y Muchie 2010, p. 1808). Se presenta en la Tabla 2.6 un resumen de algunos metales y metaloides, y sus efectos en la salud humana junto con los límites permisibles.

Tabla N° 7

*Sustancias tóxicas y sus efectos en la salud humana*

Sustancia tóxica	Efecto agudo	Efecto crónico	Nivel permisible (mg/L)
Arsénico	Orina ensangrentada, malestar gastrointestinal, diarrea, dolores de cabeza, vómitos, convulsiones, coma y muerte	Dermatitis, ampollas, enfermedad del pie negro; mal funcionamiento y daño a los órganos; diabetes; cáncer y propiedades mutagénicas	0.02
Cadmio	Heridas hepáticas, pulmonares y testiculares	Osteoporosis, heridas renales y de los huesos; carcinoma (principalmente en la próstata y riñones); tóxico para otros órganos	0.06
Cromo	Vómitos y diarrea; hemorragia y pérdida de sangre en el tracto gastrointestinal	Necrosis al hígado y riñones; úlceras en la piel, "huevos de cromo", dermatitis; ulceración y perforación del tabique nasal; carcinomas nasales, faríngeas, y gastrointestinales	0.05
Plomo	Retardo mental en niños, retardo en el desarrollo, poca capacidad de atención; fatiga leve; dolores de cabeza, náuseas, vómitos	Comportamiento antisocial; alteración de la síntesis de hemoglobina; alteración de la función renal; sordera, ceguera, retardo; disminución de la capacidad intelectual, pérdida de la memoria, disminución de la libido, fatiga	0.10
Efectos negativos			
Manganeso	La inhalación o contacto causa daño al sistema nervioso central		0.26
Mercurio	Daño al sistema nervioso, envenenamiento al citoplasma, aborto espontáneo, cambios fisiológicos menores, parálisis agitante (temblores), gingivitis, acrodinia caracterizada por la decoloración rosada de manos y pies		0.01
Cinc	Daño a la membrana nerviosa		15
Cobre	Anemia, daño al pulmón y riñón, irritación estomacal e intestinal		0.10

*Fuente:* Ministerio de Energía y Minas -2015.

Existe un indirecto, aunque devastador efecto de la acidez alta en los drenajes ácidos de mina. El agua proveniente del drenaje ácido de mina es inicialmente clara,

pero se torna color anaranjado vivo cuando se neutraliza debido a la precipitación de los óxidos de hierro e hidróxidos. Estos precipitados son muy finos, y pueden depositarse e incrustarse en los sustratos de los lechos de los ríos, riachuelos u océanos. Así, los organismos bentónicos que se alimentan de detritus en los lechos se ven afectados por estas sustancias, y pueden desaparecer o bioacumularlas. Estos organismos están en la base de la cadena trófica acuática, por lo que el impacto se manifiesta en los consumidores, específicamente, los peces. Entonces, aunque la acidez y los metales y metaloides son neutralizados, el drenaje ácido de mina sigue afectando a humanos y la vida silvestre a través de sus impactos indirectos (Ministerio de Energía y Minas -2015).

### **Efectos del drenaje ácido de mina en la vida vegetal**

Las altas concentraciones o algunas mezclas de metales y metaloides en los tejidos de las plantas pueden afectar su crecimiento de diferentes maneras. En general, las plantas experimentan estrés oxidativo en cuanto a la exposición a los metales y metaloides que dañan las células y perturban la homeostasis iónica celular, tanto en la fisiología como la morfología de las plantas. La Tabla 2.7 es un resumen de los principales efectos de algunos elementos tóxicos en las plantas.

Tabla N° 8  
*Sustancias tóxicas y sus efectos en las plantas*

Sustancia tóxica	Efectos
Cadmio	Disminuye la germinación de semillas, contenido de lípidos, y el crecimiento de la planta; induce la producción de fitoquelatinas
Plomo	Reduce la producción de clorofila y el crecimiento de la planta; incrementa el superóxido dismutasa
Níquel	Reduce la germinación de semillas, acumulación de masa seca, producción de proteínas, clorofila y enzimas; incrementa aminoácidos libres
Mercurio	Disminuye la actividad fotosintética, absorción de agua y enzimas antioxidantes; acumula fenol y prolina
Cinc	Reduce la toxicidad del níquel y la germinación de semillas; incrementa en crecimiento de la planta y el ratio de ATP/clorofila
Cromo	Disminuye la actividad enzimática y el crecimiento de la planta; produce daño a la membrana, clorosis y daño a la raíz
Cobre	Inhibe la fotosíntesis, el crecimiento de la planta y el proceso reproductivo; disminuye la superficie de área del tilacoide

*Fuente:* Ministerio de Energía y Minas -2015.

Las plantas necesitan un balance apropiado de los macro y micronutrientes en el suelo; así, el pH del suelo ejerce una influencia importante en la disponibilidad de nutrientes y en el crecimiento de diferentes tipos de plantas. Por ejemplo, cuando el pH del suelo es bajo, el nitrógeno, fósforo y potasio están atrapados en el suelo y no están disponibles para las plantas; también el calcio y magnesio, nutrientes esenciales para las plantas, pueden estar ausentes o deficientes en un suelo con pH bajo. En general, en pH bajo elementos tóxicos como Al, Fe y Mn son también liberados de las partículas del suelo e incrementan su toxicidad. Igualmente, la actividad de los

organismos del suelo que descomponen la materia orgánica del suelo es reducida. El pH adecuado del suelo incrementa la actividad de los microorganismos, lo cual mejora la capacidad de cultivo del suelo, la aireación y drenaje. Esto permite un mejor uso de nutrientes, incrementa el desarrollo de la raíz y la tolerancia a las sequías (Simate y Ndlovu 2014, p. 1791).

### **Efectos del drenaje ácido de mina en la vida acuática**

Los organismos acuáticos, como los peces, acumulan los metales y metaloides directamente del agua contaminada e indirectamente a través de la cadena alimenticia. Debido a que los metales y metaloides son altamente resistentes y tóxicos, aunque estén en trazas (muy pequeñas cantidades), pueden inducir potencialmente el estrés oxidativo acuático. El cadmio, cobre, plomo y cinc son metales de particular preocupación por su severa toxicidad para la vida acuática. La exposición aguda (corto plazo, altas concentraciones) de estos metales puede matar organismos directamente, mientras que la exposición crónica (largo plazo, bajas concentraciones) puede producir mortalidad o efectos no letales, como retraso en el crecimiento, reducción en la reproducción, deformaciones o lesiones. La Tabla 2.8 muestra la cantidad de metales recomendados para la vida acuática, comparada con los estándares federales de agua potable de Canadá (Ministerio de Energía y Minas - 2015).

Tabla N° 9

*Niveles aceptables de metales y metaloides para agua potable y protección de la vida acuática*

Sustancia tóxica	Estándar de agua potable (ppb)	Nivel permisible (ppb)
Aluminio	100	5 si es Ph< 6,5 ,100 si pH>6.5
Arsenico	25	5 (agua dulce); 12,5 (agua salada)
Cadmio	5	0,017 (agua dulce); 0,12 (agua salada)
Plomo	10	1-7 dependiendo de la dureza del agua
Níquel	20(OMS)	25-150 dependiendo de la dureza del agua
Manganeso	500(OMS)	Ninguno
Mercurio	1	0.1
Cinc	5000 (basado en pruebas)	30 (agua dulce)
Cromo	50	Cr +6 : 1 (agua dulce); 1,5 (agua salada); : 8,9 (agua dulce), 56 (agua salada)
Cobre	1000(basado en pruebas)	2-4 dependiendo de la dureza del agua
Selenio	10	1

*Fuente : Ministerio de Energía y Minas -2015.*

El pH en el agua es importante para la vida acuática porque este afecta las funciones fisiológicas normales de los organismos acuáticos, así como el intercambio de iones con el agua y la respiración. Estos procesos fisiológicos importantes normalmente operan en la mayoría de biotas acuáticas en un rango relativamente

amplio de pH (6 – 9). El pH natural de la mayoría de lagos de agua dulce, riachuelos, y pantanos se ubica en el rango de 6 – 8. Cuando el pH excede el rango fisiológicamente tolerado por los organismos acuáticos, este puede resultar en numerosos subefectos letales (disminución de velocidad de crecimiento) e incluso mortalidad (Ministerio de Energía y Minas -2015).

## 2.8. BACTERIAS SULFATO REDUCTORAS

Las bacterias sulfato-reductoras son un grupo muy heterogéneo de organismos heterótrofos anaerobios facultativos. Algunos autores como Widdel y Hansen (1991) consideran que las bacterias sulfato-reductoras son estrictamente anaerobias y sostienen que, por lo general, son muy sensibles a los medios óxidos y mueren de forma más o menos rápida expuestos a éstos. Sin embargo, estudios recientes apuntan hacia la tesis de que la respiración del oxígeno limita la actividad de las bacterias sulfato- reductoras mediante la competencia por los sustratos orgánicos y no tanto por la toxicidad del oxígeno (Norsker et al., 1995).

Las BSR producen aproximadamente 2 moles de alcalinidad por mol de sulfato que es reducido (Frank, Paul, 1999); la cantidad exacta de alcalinidad varía con la estructura del donador de electrones. Un ejemplo de la reacción con acetato como donador de electrones muestra esta ratio de producción de alcalinidad (Reacción 7):



Un mol de sulfuro es generado por mol de reducción de sulfato, y el sulfuro precipitará los metales pesados con bajo producto de solubilidad del sulfuro de metal (Reacción 8):



donde  $Me^{2+}$  simboliza un metal pesado divalente.

Rai et al. (1991); Macaskie & Dean (1989); Huang & Morehart (1990); Avery & Tobin (1993); Brady & Duncan, (1994); Krauter et al. (1996), Veglio et al. (1997), y Kosolapov et al. (2004) señalan que los métodos biológicos para la remoción de metales pesados comprenden procesos como transporte a través de la membrana celular, biosorción a la pared celular y atrapamiento en cápsulas extracelulares, precipitación por inducción metabólica, complejación y reacciones de óxido reducción.

Todos los sistemas de reactores microbianos requieren una fuente de carbono y un soporte que permita el crecimiento bacteriano, puesto que se han encontrado relaciones cuantificables entre la actividad de BSR y los parámetros físicos del soporte (Lyew & Sheppard, 1997).

## **2.9. DEFINICIÓN**

Son las bacterias que tienen la facultad de reducir sulfato, sulfito o tiosulfato de manera no asimilatoria, utilizándolos como aceptores de electrones, produciendo como desecho metabólico ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ).

**Géneros** Actualmente se han reconocido diez géneros de bacterias desasimilativas reductoras de sulfato, subdivididos en dos grandes grupos fisiológicos (según su metabolismo), es decir, si oxidan o no el acetato como fuente de carbono y energía.

Tabla N° 10  
*Bacterias reductoras de sulfato*

GRUPO O GENERO	RASGOS FENOTÍPICOS SOBRESALIENTES			
	GRAM	MORFOTIPO	ESPORAS	CAPACIDAD DE CRECIMIENTO AUTOTRÓFICO
<b>GRUPO-I (No oxidan acetatos)</b>	-	bacilos curvos	-	+
Desulfovibrio				
Desulfomicrobium	-	bacilos	-	-
Desulfobotulus	-	vibrios	-	-
Desulfomaculum	-	bacilos	+	-
Archaeoglobus	-	pleomorfico	-	-
Desulfubulbus	-	ovoide	-	-
thermodesulfobacterium	-	bacilos	-	-
<b>GRUPO-II (oxidan acetatos)</b>				
Desulfobacter	-	bacilos	-	-
Dsulfobacterium	-	bacilos	-	+
Dsulfococcus	-	cocos	-	+
Dseufonema	+	filamentos	-	+
Desulfosarcina	-	cocos	-	+
Dsulfoarculus	-	vibrios	-	-

Fuente: Ministerio de Energía y Minas -2015.

GÉNEROS DEL GRUPO I Desulfovibrio, Desulfomonas, Desulfotomaculum, Desulfobulbus: Utilizan fundamentalmente lactato, piruvato, etanol, o ciertos ácidos grasos como fuentes de energía y de carbono, reduciendo el sulfato a sulfuro de hidrógeno.

GÉNEROS DEL GRUPO II: Desulfobacter, Desulfococcus, Desulfosarcina y Desulfonema: Están particularmente especializados en la oxidación de ácidos grasos, en particular del acetato, reduciendo el sulfato a sulfuro (Ministerio de Energía y Minas -2015).

### **Características**

Aunque son morfológicamente diversas, las bacterias reductoras de sulfatos se pueden considerar un grupo unificado fisiológicamente, del mismo modo que las bacterias metanogénicas o fototróficas.

- Las BSR están representadas tanto por microorganismos heterótrofos, por ejemplo, *Desulfovibrio desulfuricans*, como autótrofos, por ejemplo, *Desulfobacterium macestii*.
- Las BSR también se caracterizan por ser anaerobias obligadas, se deben usar técnicas anaeróbicas estrictas en su cultivo.

Las *Desulfuromonas* difieren de las *Campilobacter* en que son anaerobios obligados y utilizan solamente azufre como aceptor de electrones.

### **Hábitat**

Estas bacterias se encuentran ampliamente distribuidas en ambientes anóxicos tanto acuáticos como terrestres:

- Se encuentran en el nivel subsuperficial de ambientes acuáticos como sedimentos o aguas profundas que se vuelven anóxicas.
- También se encuentran en lodos y sedimentos de plantas industriales petrolíferas.
- En biofilms metálicos de conducciones industriales donde producen procesos de corrosión.

- En heces del hombre y animales.
- En frutas en estado de descomposición.
- Ocasionalmente en ambientes hipersalinos y termófilos (Ministerio de Energía y Minas -2015).

## **2.10. BENEFICIO DEL PROCEDIMIENTO DE SULFATO-REDUCCIÓN EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES:**

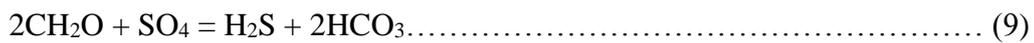
El procedimiento de sulfato-reducción es importante para la remoción de metales en lixiviados de minas y efluentes del sector industrial. Tal es así que es considerado potencialmente superior a otros procesos biológicos debido a su capacidad para producir alcalinidad y neutralizar el pH de aguas ácidas; y su facultad para la remoción simultánea de materia orgánica, sulfatos y metales pesados (Tuppurainen et al., 2002; Kaksonen et al., 2006; Alvarez et al., 2007; Kaksonen & Puhakka, 2007). Recientes estudios demuestran su utilidad en la inmovilización de metaloides como el Arsénico, isótopos radiactivos como el Uranio y los Cianuros (Jong & Parry, 2005; Yi et al., 2007; Sirianuntapiboon et al., 2008). Adicionalmente puede aplicarse para aumentar la remoción de materia orgánica y en la descomposición de compuestos xenobióticos y tóxicos (Van Lier et al., 2001a).

La cualidad más importante del proceso es la baja producción de lodos de sulfuro metálico, con volumen más compacto y con baja solubilidad, comparable con la precipitación con hidróxidos. Además, se recuperan metales con valor económico, de los sulfuros metálicos precipitados (Kaksonen et al., 2003). Además, se han implementado métodos recientes para la recuperación selectiva de los metales llevando a cabo el control de pH y la concentración de sulfuro (Sampaio et al., 2009).

**2.11. PROCESO DE SULFATO-REDUCCIÓN PARA LA BIOPRECIPITACIÓN DE METALES:**

Este proceso se basa en la formación de sulfuros metálicos de baja solubilidad y la neutralización del agua debido a la alcalinidad producida en la oxidación microbiana de la fuente las fuentes de carbono (Christensen et al., 1996). A este método es a lo que comúnmente llamamos bioprecipitación (Diels et al., 2001). Este procedimiento se ve en las ecuaciones siguientes (Kaksonen & Puhakka, 2007):

La Producción de sulfuro y alcalinidad Ver Ecuación (9) es donde el metan aldehído (CH<sub>2</sub>O) simboliza la fuente de carbono:



El sulfuro biogénico producido precipita los metales disueltos como sulfuros de baja solubilidad “Ecuación (6)”. Donde M<sup>2+</sup> representa metales como Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, etc.



El metal libera protones a través de la reacción de precipitación Ver Ecuación (6), estos se adicionan a la acidez del agua. La alcalinidad producida por el bicarbonato en la oxidación sulfidogénica de la materia orgánica Ecuación (5), neutraliza la acidez producida por la reacción de precipitación del metal Ecuación (7).



## **2.12. MARCO LEGAL:**

### **Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.**

La presente Ley es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

### **Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.**

El Reglamento tiene por objeto regular el uso y gestión de los recursos hídricos que comprenden al agua continental: superficial y subterránea, y los bienes asociados a esta; asimismo, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, todo ello con arreglo a las disposiciones contenidas en la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338. es de aplicación a todas las entidades del sector público nacional, regional y local que ejercen competencias, atribuciones y funciones respecto a la gestión y administración de recursos hídricos continentales superficiales y subterráneos; y, a toda persona natural o jurídica de derecho privado, que interviene en dicha gestión.

### **Ley N° 28271, Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera.**

La presente Ley tiene por objeto regular la identificación de los pasivos ambientales de la actividad minera, la responsabilidad y el financiamiento para la remediación de las áreas afectadas por éstos, destinados a su reducción y/o eliminación, con la

finalidad de mitigar sus impactos negativos a la salud de la población, al ecosistema circundante y la propiedad.

**Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.**

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, el cual aprueba 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. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

**R.J N.º 145-2016-ANA Modificación del reglamento para el otorgamiento de Autorizaciones de vertimiento y reúso de aguas residuales tratadas.**

La presente Resolución Jefatural, se pronuncia sobre del plazo de vigencia y renovación de las autorizaciones de vertimiento, y reúso de aguas residuales tratadas; siendo que, se dispone la modificación del artículo 25° y del numeral 27.5 del artículo 27° del Reglamento para el Otorgamiento de Autorizaciones de Vertimiento y Reúso de Aguas Residuales Tratadas, aprobado por Resolución Jefatural N° 224-2013-ANA.

En tal sentido, mediante la presente, se dispone que la vigencia de autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas no podrá ser menor de dos (02) ni mayor de seis (06) años, en función a la duración de la actividad principal en la que se usa el

agua. Asimismo, se añade en el numeral 27.5 que, la vigencia de la autorización puede ser renovada varias veces por un plazo mínimo de dos (02) y máximo de seis (06) años en función a la duración de la actividad principal en la que se usa el agua.

**D.S. N° 010-2010-MINAN Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades mineras.**

Mediante Decreto Supremo 010-2010-MINAM, el cual aprueba los límites máximos permisibles para descargas de efluentes líquidos de las actividades mineras y metalúrgicas, derogando en parte la resolución ministerial 011-96-EM/VMM, ya que los artículos del 7 al 12, como también los anexos del 3 al 6 conservan su vigencia hasta que este se apruebe y entre en vigencia el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos.

Adicionalmente, se establecen plazos de adecuación que deberán acatar los titulares mineros para cumplir con los LMP. Es así, que de contar con estudios de impacto ambiental aprobados o encontrarse realizando actividad minero – metalúrgica, tienen un plazo de adecuación de 20 meses contados desde la vigencia de este decreto y, por otra parte, en los sucesos que requieran un modelo y colocación de una operación nueva como infraestructura de tratamiento con el fin de cumplir con los LMP, podrán ser otorgados dentro de los 36 meses, para entonces el titular minero presentara su plan de implementación para cumplir con los LMP .Para su sector en este caso el minero metalúrgico. Además debe describir sus acciones a realizar.

**Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. - Aprueban el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales"**

Se aprueba el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales”, que forma parte integrante de la presente resolución.

**2.13. MARCO TEMPORAL:**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo entre el mes de diciembre 2016 hasta junio del 2017.

**2.14. MARCO ESPACIAL:**

La zona se encuentra ubicada en el distrito de Ataquero con su capital Carhuac esto en la provincia de Carhuaz, departamento de Áncash. Vía terrestre se va de Lima a Carhuaz y a 30 minutos en carro se llega a la capital del distrito Carhuac, para luego a pie continuar por un camino de herradura y quebrada arriba se llega al pasivo ambiental de la minera Nuncia.

### CAPITULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIAL DE ESTUDIO

Las aguas acidas que drenan de la parte baja del pasivo ambiental de la minera Nuncia, ubicado en la quebrada Pacchac, distrito de Ataquero - provincia de Carhuaz –Áncash.

Datos hidrológicos

#### 3.2. REACTIVOS Y MATERIALES

Para el siguiente trabajo de investigación se utilizarán los siguientes reactivos y materiales detallados por procesos:

Tabla N° 11

*Materiales para ubicación del área de estudio.*

PROCESO	MATERIALES
UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	Cámara fotográfica, mapa de ubicación, GPS, Binoculares, botas de jebe, Estacas pintadas, etc.

*Fuente:* Elaboración propia.

Tabla N° 12

*Materiales para muestreo del agua.*

<b>PROCESO</b>	<b>MATERIALES</b>
<b>MUESTREO DEL AGUA</b>	Guantes látex, botas de jebe, balde de 5 litros, frascos de plástico, coolers, ice pack, preservantes, cadenas de custodia, marcador indeleble, cintas de embalaje, etc.

*Fuente:* Elaboración propia.

Tabla N° 13

*Materiales para la instalación de la columna de tratamiento.*

<b>PROCESO</b>	<b>MATERIALES</b>
<b>INSTALACION DE LA COLUMNA DE TRATAMIENTO</b>	Tubo PVC de 4 pulgadas, malla Rachel, alambre, separador de tubería, cintas, tijera, alicata, etc.

*Fuente:* Elaboración propia.

**Tabla N° 14**

*Materiales para la instalación del filtro de tratamiento*

<b>PROCESO</b>	<b>MATERIALES</b>
<b>INSTALACIÓN DEL FILTRO DE TRATAMIENTO</b>	Bosta de la vaca, turba y paja

*Fuente:* Elaboración propia.

### **3.3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO:**

#### **3.3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Aplicativa

Tipo de investigación cuyo propósito es dar solución a situaciones o problemas concretos e identificables (Hernández, et al, 5ta ed., 2010, P.176), utilizando un método en este caso el método de bacterias sulfato-reductoras para la mejora de la calidad del agua acida de mina.

#### **3.3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

**Experimental**

Es experimental porque tiene al menos dos acepciones, una general y otra particular. La general se refiere a “elegir o realizar una acción” y después observar las consecuencias (Babbie, 2009).

Este uso del término es bastante coloquial; así, hablamos de “experimentar” cuando mezclamos sustancias químicas y vemos la reacción provocada, o cuando nos cambiamos de peinado y observamos el efecto que suscita en nuestras amistades dicha transformación. La esencia de esta concepción de experimento es que requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados (Hernández, et al, 5ta ed., 2010, P.121).

### **3.3.3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN:**

#### **1.- FUENTES INSTITUCIONALES:**

- Universidad Nacional Federico Villarreal (Visita a la biblioteca)
- Universidad Nacional de Ingeniería -UNI (Visita a la sala de investigación de la FIA)
- SENAMHI (solicitud de datos de precipitación en la zona de estudio)
- INGEMMET (Solicitud de información).

#### **2.- FUENTES BIBLIOGRÁFICAS:**

- Palomino, Paredes y Villanueva (2004); Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNSAM). Biorremediación de Drenajes Ácidos de Mina (DAM) mediante el sistema de humedales.
- Villachica, Carlos; Llamosas Jaime y Villachica Joyce; SMALLVILL S.A.C. – CONSULCONT S.A.C. Proceso NCD “Tecnología Nacional comprobada para el tratamiento de efluentes ácidos mineros”, Julio del 2005.

#### **3.- FUENTES WEB:**

- [www.municipalidaddecarhuaz.com](http://www.municipalidaddecarhuaz.com)
- [www.inei.gob.pe](http://www.inei.gob.pe)

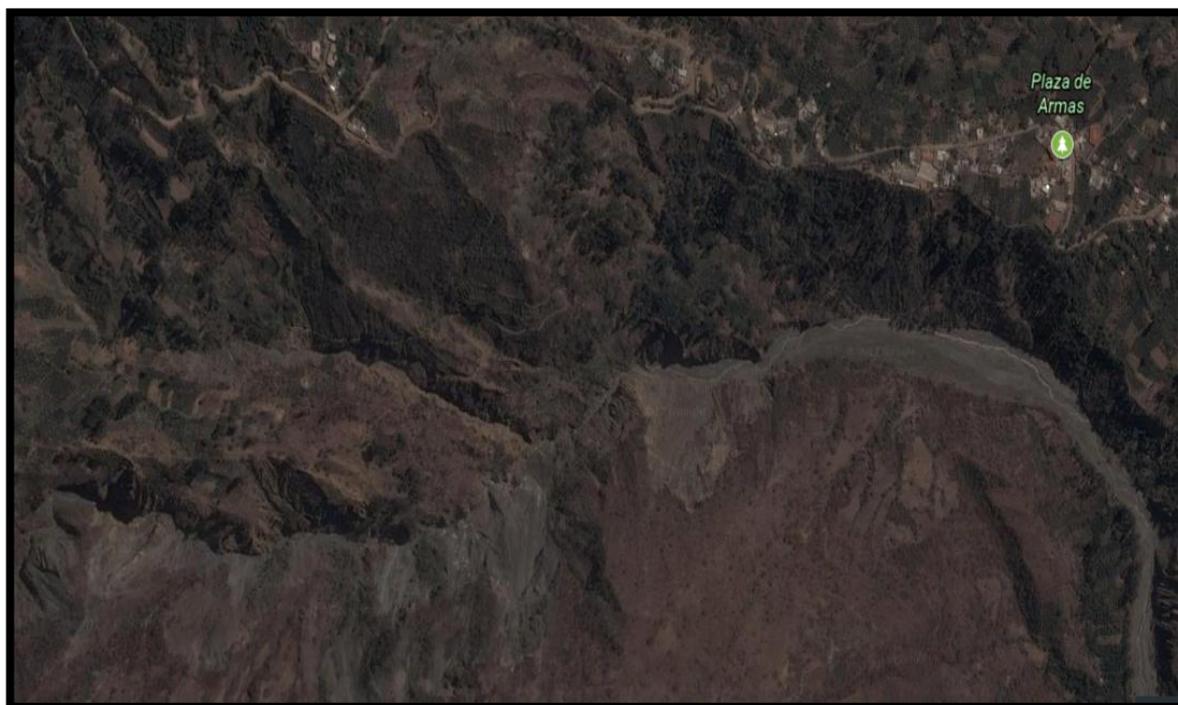
## CAPITULO IV.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 4.1. UBICACIÓN

El pasivo ambiental de la empresa minera Nuncia S.A está ubicada en el distrito de Ataquero, provincia de Carhuaz, Departamento de Áncash.

La capital del distrito es el centro poblado de Carhuac, ubicado en la margen izquierda del río Santa, en la vertiente oriental de la Cordillera Negra a una altitud promedio de 2519 m.s.n.m.

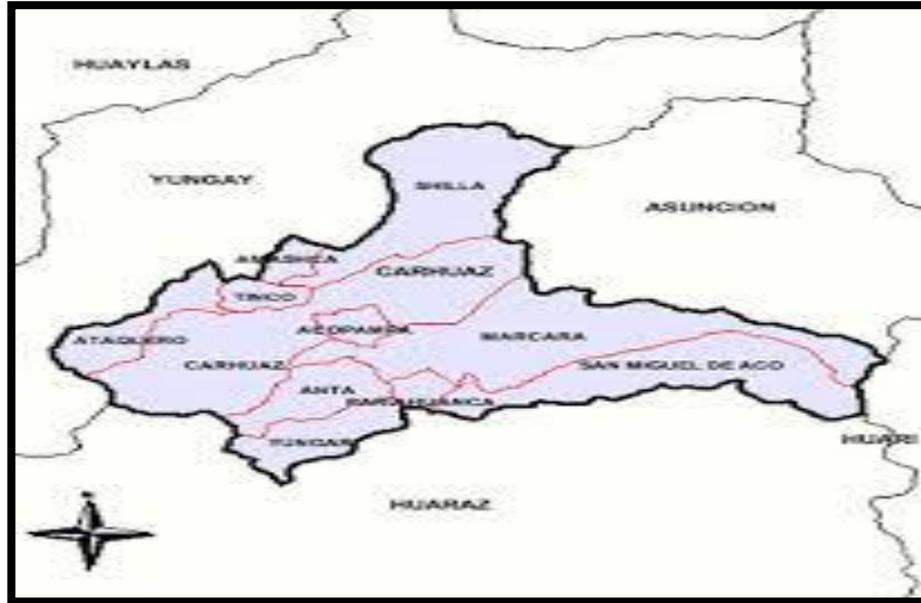
La actividad minera en esta zona estuvo presente hasta el año 1988, año en que se dejó de laborar por problemas con el acceso y la población que exigía un pago por el pase, quedándose en estado de abandono o pasivo ambiental hasta la fecha. Para el siguiente trabajo de investigación se seleccionará el área por donde drena el DAM (drenaje ácido de mina) como área de estudio (ver mapa N° 1).



*Figura 3.* Área de estudio de la investigación – quebrada Pacchac.

*Fuente:* Google Earth (2017).

#### 4.2. LÍMITES Y VÍAS DE ACCESO



*Figura 4.* Localización del distrito de Ataquero-Carhuac.

*Fuente:* Municipalidad provincial de Carhuaz (2014).

El distrito de Ataquero se encuentra ubicada a  $9^{\circ} 16' 26''$  de latitud sur y a los  $77^{\circ} 69' 28''$  de longitud occidental de Greenwich, ubicada a 8.51 km de la provincia de Carhuaz delimita de la siguiente manera:

**NORTE** : Kascapara

**ESTE** : Carhuaz

**SURESTE** : Jecanga

**NORESTE** : Cochabamba

#### **4.2.1 VÍAS DE ACCESO:**

La vía de acceso al distrito de Ataquero y su capital Carhuac únicamente es vía la carretera Carhuaz -Tinco -Ataquero en ese orden, partiendo de Carhuaz, por la carretera central con destino a Caraz en el camino se encuentra el distrito de Tinco lugar por donde termina la carretera asfaltada y se ingresa cruzando el río Santa para luego subir por un camino de trocha carrozable de una sola vía al distrito de Ataquero, específicamente a la plaza de armas de Carhuac, su capital.

#### **4.3. EXTENSIÓN TERRITORIAL:**

El distrito de Ataquero posee un área territorial de 47,22 km<sup>2</sup>

#### **4.4. ASPECTO FÍSICO:**

##### **CLIMA:**

La provincia de Carhuaz, así como el distrito de Ataquero presentan un clima templado de montaña tropical con temperaturas medias anuales entre 11 – 16° C y máximas absolutas que sobrepasan los 20° C. La sequedad atmosférica es cada vez menor y con la altitud que van desde los 2500 a 4000 m.s.n.m. con precipitaciones anuales superiores a 200 mm. Pero menores a 500 mm. Los descensos de temperatura en forma brusca (0° C) producen las heladas causando daños al sector agrícola (Municipalidad provincial de Carhuaz - 2014).

##### **FISIOGRAFÍA:**

Fisiográficamente, el Callejón de Huaylas constituye un típico valle interandino estrecho, desarrollado a lo largo de los cursos superior y medio del río Santa, que

discurre aproximadamente de Sur a Norte, encajonado entre las Cordilleras Blanca y Negra. La Cordillera Blanca, denominada así por sus nieves perpetuas que son motivo del bello paisaje de la Sierra de los Andes Centrales del Perú, llega a cotas superiores de los 6,000 m.s.n.m. En cambio, la Cordillera Negra, denominada así por carecer de nevados y glaciares, presenta altitudes mucho más bajas, por debajo de los 5,000 metros de altura. La constitución geológica de la Cordillera Blanca es casi exclusivamente granítica, no así la Negra, que está conformada básicamente de materiales líticos de naturaleza volcánica.

El valle agrícola prácticamente se inicia a los 3,700m.s.n.m., en las inmediaciones de las localidades de Catac y Utcuyacu y llega a su término, en el Norte, en el área circunvecina a la localidad de Caraz, situada a 2,200 m.s.n.m. A partir de este lugar, el valle se estrecha notablemente formando el conocido Cañón del Pato, que presenta un paisaje imponente y abrupto, de paredes rocosas y verticales, pero sin ningún valor para el desarrollo agrícola, aunque de notable interés hidroeléctrico (Hidroeléctrica del Cañón del Pato) así como turístico o estético. La configuración toposiográfica en el Callejón de Huaylas ha dado lugar a escaso desarrollo de suelos aluviales, a los que se les encuentra localizados en pequeñas terrazas generadas por el río Santa y tributarios, de tramo corto, provenientes de las Cordilleras Blanca y Negra (Municipalidad provincial de Carhuaz 2014).

### **HIDROLOGÍA:**

La evaluación de los registros de esorrentía además de las observaciones en campo, indican que incluso durante los años severamente secos existe en la zona un caudal

mínimo de agua que permite mantener activo a las áreas agrícolas del distrito de Ataquero.

Esta es la principal evidencia de que a pesar de no existir nevados ni lagos cercanos en la cordillera negra como si en el caso de la cordillera blanca, ubicada enfrente el poco caudal que discurre por las quebradas en épocas de estiaje es de origen subterráneo, su afloramiento natural ocurre en las partes altas a través de algunos manantiales u ojo de agua también llamados.

Finalmente, las aguas de estas quebradas, así como toda agua circulante en el distrito como las de sequias, etc. van a descargas sus aguas al río Santa, el cual recorre todo el callejón de Huaylas pasando por el distrito de Tinco y parte baja del distrito de Ataquero hasta su desembocadura en el mar (Municipalidad provincial de Carhuaz 2014).

### **GEOLOGÍA Y MORFOLOGÍA:**

El yacimiento Pierina contiene mineral aurífero en tobas pomáceas alteradas hidrotermalmente y alojadas en andesitas. Los afloramientos de roca en el área de la mina están constituidos por los volcánicos del grupo Calipuy (andesitas, dacitas y riódacitas). La mineralización ocurre dentro de una unidad de tobas pomáceas alojadas en andesitas. El yacimiento también presenta porcentajes de sulfuros, así como de azufre nativo.

Las texturas del suelo son de tierra vegetal arcillosa, tierra vegetal arenosa y tierra vegetal arcillo-arenosa con grava.

El promedio anual de lluvias en la Cordillera Negra es de aproximadamente 550 a 600 mm. y tiene lugar principalmente durante los meses de octubre a marzo.

La Cordillera Negra, llamada así por carecer de nevados y glaciares, presenta altitudes por debajo de los 5,000 metros de altura, cuya función de “barrera de contención climática” permite que en nuestro país se forme la cordillera tropical de nevados más alta del mundo. Al interior de la zona de cordilleras, las características geológicas son complejas y guardan relación con los procesos de compresión generados por el choque de las placas de Nazca y Sudamérica. Así mismo los materiales geológicos han sido tan meteorizados y erosionados que en ella encontramos claramente definidos dos subconjuntos: el Callejón de Huaylas y las vertientes pronunciadas.

La topografía del sector de vertientes pronunciadas corresponde a pendientes muy fuertes en la zona de quebradas y de pendientes fuertes a moderadas en las laderas utilizadas para los cultivos. La pendiente es suave en las zonas donde se han formado terrazas (relacionadas con procesos fluviales o aluviónicos); utilizando estas áreas para el desarrollo de centros poblados, así como para el desarrollo de la agricultura intensiva (Municipalidad provincial de Carhuaz 2014).

### **SUELOS:**

Los suelos COLUVIALES y RESIDUALES, constituye la gran masa edáfica que predomina principalmente en las laderas del flanco oriental de la Cordillera Negra, aunque también se encuentra en las faldas de la Cordillera Blanca. Son suelos, por lo general, superficiales, de topografía muy accidentada y de textura franco gravosa a franco arcillo gravosa y de naturaleza medianamente acida a medianamente alcalina. Se derivan de materiales parentales diversos, predominando las andesitas con inclusiones de carbonato secundario, cuarcitas e intercalaciones de calizas y tufos

volcánicos. Las dotaciones de materia orgánica y fósforo son bajas, no así el elemento potasio, generalmente expresado en forma alta. El relieve topográfico es predominantemente accidentado con pendientes entre 25 y más de 50%. Este factor, aunado a la superficialidad del suelo, les confiere escasa potencialidad para el uso agrícola. Sin embargo, al igual que los suelos del grupo fluvio glacial, se encuentran en su mayor parte intensamente cultivados (Municipalidad provincial de Carhuaz - 2014).

(Ver Mapa N° 4).

#### **ZONAS DE VIDA:**

Estepa Espinoza – Montano Bajo Tropical (ee-MBT).- Se caracteriza por presentar un clima semiárido y templado, propio del extremo Norte del Callejón, entre las cotas 2,300 y 2,900 m.s.n.m. Las lluvias no son suficientes para satisfacer las demandas de agua de los cultivos que se conducen, desarrollándose predominantemente una agricultura bajo riego. Las condiciones térmicas son mayormente favorables para la fijación de un amplio espectro de cultivos tanto intensivos como de carácter permanente. Eventualmente, pueden presentarse heladas sin llegar a ocasionar problemas de consideración (Municipalidad provincial de Carhuaz - 2014).

(Ver Mapa N° 5).

#### **VEGETACIÓN:**

Desde hace varios milenios, las tierras del Callejón de Huaylas han sido sometidas a un uso intensivo tanto agrícola como ganadero. Los procedimientos primitivos y, en especial, el progresivo crecimiento poblacional del área han sido las causas

fundamentales de la destrucción del material vegetal original, Hoy en día, de la vegetación original prácticamente sólo quedan algunos vestigios, primando principalmente una vegetación secundaria, mucha de ella exótica,

El tapiz vegetal de naturaleza arbustiva y subarbustiva está representado por varias especies de familias diversas, destacándose entre ellas; Huarango (*Acacia tortuosa*). Retama (*Spartium junceum*). Aliso (*Alnus jorullensis*). Carrizo (*Arundo donax*). Fresno (*Fraxinus pensilvánica*), Nogal (*Juglans neutrópica*). Tara (*Caesalpinia tinctoria*). Molle (*Schinus molle*), Capuli (*Prunus capulí*). Sauce (*Salix Humboldtiana*) y otras especies suculentas de la familia cactácea.

Bajo este aspecto, el eucalipto merece especial mención ya que constituye la especie que reviste capital importancia para la futura forestación del Callejón de Huaylas, advirtiéndose, actualmente, pequeñas áreas forestadas con la citada especie.

La cobertura herbácea, preferentemente localizada en áreas cultivadas está constituida en gran parte por las gramíneas compuestas, crucíferas, en general (Municipalidad Provincial de Carhuaz - 2014).

#### **4.5. CARACTERÍSTICAS SOCIALES:**

##### **POBLACIÓN:**

Según el último censo realizado por INEI el año 2007, el distrito de Ataquero posee 1498 habitantes dentro de los cuales 715 son hombres y 783 son mujeres, además señala que la mayoría de la población son de la zona rural con 1223 pobladores en tanto 275 le corresponde a la zona urbana del distrito. (Ver cuadro N° 15).

Tabla N° 15

*Población*

DISTRITO	POBLACIÓN TOTAL	HOMBRES	MUJERES	RURAL	URBANA
ATAQUERO	1498	715	783	1223	275

*Fuente:* Censo INEI 2007.

**ABASTECIMIENTO DE AGUA:**

El censo 2007 también señala que las viviendas particulares con ocupantes por el tipo de abastecimiento de agua el distrito de Ataquero posee 28 viviendas las cuales usan el agua del río o fuente en este caso el agua de la quebrada contaminada con un total de 94 ocupantes.

Tabla N° 16

*Tipo de abastecimiento de agua*

TIPO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	VIVIENDAS PARTICULARES	OCUPANTES PRESENTES
RIO, ACEQUIA, MANANTIAL O SIMILAR	28	94

*Fuente:* Censo INEI 2007.

**ACTIVIDADES ECONÓMICAS:**

Según datos del censo la mayor parte de la población no pertenece a la PEA (población económicamente activa) siendo un 27,89 % de la población dedicada en su mayoría a la actividad económica de la agricultura, ganadería, caza y silvicultura (Ver Tabla N° 18). Siendo la agricultura la actividad a la que la población dedica

mayor parte de su tiempo teniendo como mayor fuente ingreso la producción de la fruta de la tuna, el cual los días miércoles y domingos son llevados a la feria o también llamado mercado de la ciudad de Carhuaz para su comercialización por medio de jabas al por mayor , mientras que la NO PEA (Población económicamente no activa), perteneciente al 72,11% de la población se dedica al cuidado del hogar tal como indica la siguiente tabla.

Tabla N° 17

*Condición de actividad económica en el distrito de Ataquero-Carhuaz.*

CONDICIÓN DE ACTIVIDAD ECONÓMICA	TOTAL
PEA	371
Ocupada	357
Trabajando por algún ingreso	263
No trabaja, pero tenía trabajo	80
Ayudando a un familiar sin pago	14
Desocupada	14
Buscando trabajo habiendo trabajo	11
Buscando trabajo por primera vez	3
No PEA	959
Cuidado del hogar y no trabajo	526
Estudiante y no trabajo	416
Jubilado/pensionista y no trabajo	2
Rentista y no trabajo	1
Otros	14

*Fuente: Censo INEI 2007.*

Tabla N° 18

*Distribución de la población según actividad económica.*

POBLACION	ACTIVIDAD ECONOMICA A LA QUE SE DEDICA
299	Agricultura, ganadería, caza y silvicultura.
2	Explotación de minas y canteras.
6	Industrias manufactureras.
12	Construcción.
6	Comerc. Rep. de vehículos, motores, etc.
6	Comercio al por menor.
2	Hoteles y restaurantes.
4	Actv.inmobil, empresas y alquileres.
1	Trans.almac. y comunicaciones.
12	Admi. Publica y defensa, Seg. Social afiliado.
5	Enseñanza.
6	Otras actv. serv. común.soc. y personales
3	Servicios sociales y de salud.
959	Desocupado.

*Fuente: Censo INEI Censo 2007.*

### **VIVIENDA:**

Según datos del censo el 2007 del INEI para las condiciones de las viviendas el distrito de Ataquero posee un total de 601 viviendas y por el tipo de material usado para su construcción el adobe una mezcla de tierra húmeda de la zona con la paja del trigo está presente en gran número, este material ya común en la región sierra del

Perú usado por la población de la zona rural en su mayoría por el de bajo costo en comparación con el ladrillo y el concreto.

Tabla N° 19  
*Viviendas por área urbana y rural en Ataquero.*

Distrito	Total	Área	
		Urbana	rural
Ataquero	601	120	481
Viviendas	601	120	481

*Fuente:* Censo INEI 2007.

Tabla N° 20  
*Tipo de material de las paredes de las viviendas.*

Distrito	Total	Ladrillo o bloque de cemento	Adobe o tapial	Estera	Piedra con barro
Ataquero	601	21	575	2	3
Vivienda	601	21	575	2	3

*Fuente:* Censo INEI 2007.

## **CAPITULO V**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA**

La identificación de estos puntos se dio tomando los pasos del protocolo Nacional de Monitoreo del ANA (Autoridad Nacional del Agua), para la categoría agua superficial.

Estos puntos para el muestreo de agua fueron identificados mediante el uso de imágenes satelitales así como también con la ayuda del programa Google Earth. Sin embargo la ubicación definitiva de los puntos de monitoreo se realizó en campo tomando como criterios la accesibilidad a los puntos de monitoreo y principalmente la posible presencia a la vista del drenaje ácido de mina. Seguidamente se colocaron señales visibles consistentes en estacas pintadas en los puntos de monitoreo para su fácil reconocimiento, además se tomaron los datos en la libreta de campo tales como coordenadas geográficas por medio del uso de un GPS (Ver Tabla N°20), como también la altitud dada por la misma y fotografías de cada uno de los puntos los cuales se ubican en la parte baja, media y alta de la quebrada Pacchac los cuales fueron identificadas como PM-1, PM-2, PM-3 respectivamente (Ver Mapa N°2).

Tabla N° 21  
*Coordenadas de los puntos de muestreo.*

PUNTO DE MUESTREO	FECHA	ALTITUD (m.s.n.m.)	COORDENADAS (UTM)		LUGAR DE MUESTREO
			LATITUD	LONGITUD	
PM1	12/03/17	2770	9.266334	77.699765	Parte inferior de la quebrada Pacchac.
PM2	12/03/17	2840	9.266691	77.702527	Parte media de la quebrada Pacchac.
PM3	12/03/17	2910	9.266167	77.708128	Parte superior de la quebrada Pacchac.

*Fuente:* Elaboración propia.

#### **4.3. CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA.**

Para poder tener un conocimiento real de la calidad del agua inicial producto del drenaje ácido de mina, se procedió a caracterizar las aguas de la quebrada Pacchac, debido a que esta es la que posiblemente pueda ser la más afectada por el pasivo ambiental dejado por la empresa minera Nuncia. Para ello se tomaron muestras de agua en los puntos de monitoreo ya establecidas líneas arriba como son los puntos PM1, PM2 y PM3, con el fin de caracterizar estas aguas inicialmente realizamos la medición del pH en mismo lugar (in situ) en cada uno de los puntos de monitoreo de la calidad del agua.

Continuando con los procedimientos del protocolo mencionado páginas arriba para aguas superficiales del ANA (Autoridad Nacional del Agua) se procedió con el muestreo para ello se recolectó en un Balde transparente y limpio de 5 L de

capacidad porque las condiciones no permitían tomarlas directamente, seguido se removió el agua recolectada con el fin de homogenizar la muestra, una vez realizado eso se midió los parámetros en campo con ayuda del Phmetro tales como Ph y temperatura del agua (Tc°) para luego después vaciarla a los frascos y una vez rotulado y refrigerado con los refrigerantes llamados Ice pack se enviaron a la ciudad de lima con su respectiva cadena de custodia para su análisis correspondiente por el laboratorio de ensayo acreditado (SAG-Servicios Analíticos Generales, cuyos resultados para metales totales, parámetro considerado de acuerdo a la actividad Minera realizado en su momento, estos nos dieron como resultado resaltante la concentración elevada para el parámetro Cobre (Cu) en nuestro punto de monitoreo PM3 ubicado en la parte alta de la quebrada , comparados con el de valor de 0.5 para Cobre el cual exige el D.S 010-2010-MINAN, normativa peruana para los LMP (Límite máximo permisible para la descarga de efluentes mineros), por lo tanto se considerara por su grado de contaminación como muestra representativa al punto de monitoreo PM 3 en donde se enfocara la metodología, cuyos resultados se presentan en la Tabla # 22.

Tabla N° 22

*Resultados del análisis inicial.*

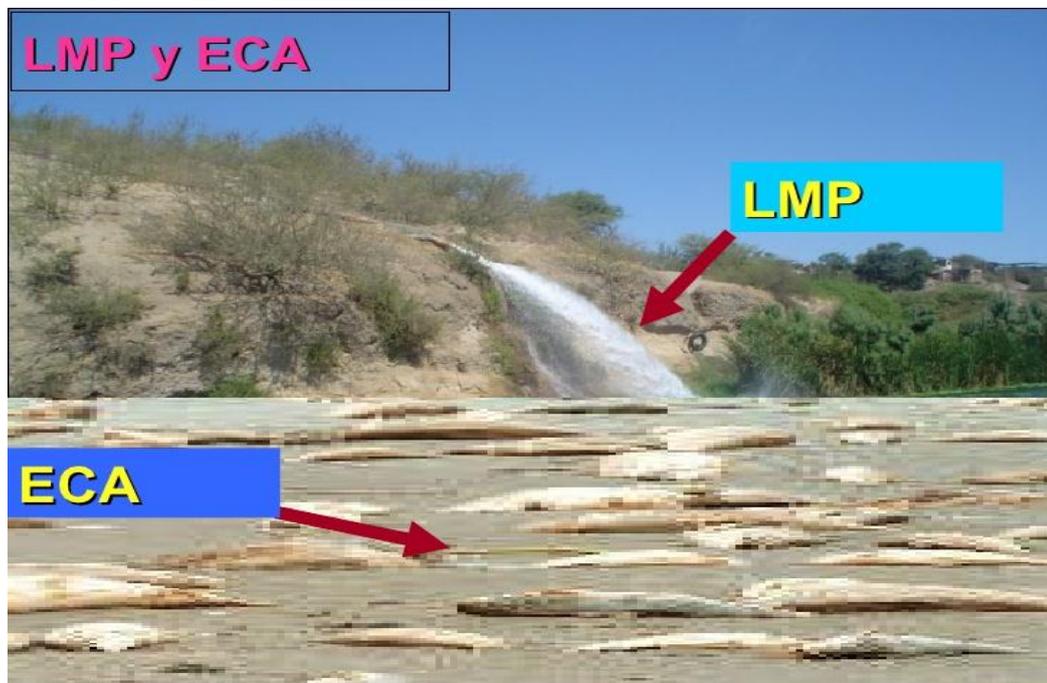
PUNTO DE MUESTREO	FECHA	CODIGO DE MUESTRA	FLUJO (lt/min)	pH	Zn	Cu	Pb	Fe
PM1	12/02/17	W-PM1-02-17	1.1	4.89	0.9	0.41	0.05	0.86
PM2	12/02/17	W-PM2-02-17	1.3	4.67	0.8	0.35	0.07	1.22
PM3	12/02/17	W-PM3-02-17	1.7	3.91	1.1	0.63	0.06	1.63

*Fuente:* Elaboración propia.

Como se puede observar se tienen datos de flujo que van desde los 1.1 lt/min en la parte baja de la quebrada hasta 1.7 lt/min en la parte alta, cabe mencionar que estos caudales fueron medidos en época de lluvias en la zona de estudio por lo cual poseen la influencia de las infiltraciones a lo largo de la quebrada empleando el método del flotador en el agua de la quebrada y por diferencia de caudales se obtuvo los mencionados datos, además se observa también en el cuadro diversos estados de acidez en las soluciones. Se observa además que la presencia de los metales en estas soluciones es baja para el zinc (Zn), Plomo (Pb) y Hierro(Fe), pero de acuerdo a los LMP (límites máximos permisibles) establecidos, el elemento que Sobrepasa los límites establecidos es el Cobre (Cu).

El primer intento debería ser el de mejorar la alcalinidad de las soluciones de bajo pH, para luego tratar de reducir la concentración de metales empleando un proceso que sea efectivo, sencillo de manejar y de bajo costo.

#### **LMP (Límites máximos permisibles)**



*Figura 5. Diferencia entre LMP y ECA.*

*Fuente: Universidad nacional de Piura (2013).*

Mediante Decreto Supremo 010-2010-MINAM, Se aprueba los LMP para la actividad minera y metalúrgica en nuestro país concerniente al agua superficial, derogando en parte la resolución ministerial 011-96-EM/VMM, ya que los artículos del 7 al 12, así como también los anexos del 3 al 6 mantienen su vigencia hasta la aprobación y entrada en vigencia del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos.

También se establece un plazo de 2 años a partir de entrada vigencia el mencionado decreto supremo , el MINAM (Ministerio del Ambiente ) , conjuntamente con el de minas evaluarán las necesidades de colocar nuevos LMP para los mencionados parámetros de a continuación:

- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno como nitratos
- Demanda Química de Oxígeno
- Aluminio
- Antimonio
- Manganeso
- Molibdeno
- Níquel
- Fenol
- Radio 226
- Selenio
- Sulfatos

Para tal efecto, el Ministerio de Energía y Minas dispondrá la modificación de los Programas de Monitoreo de las actividades mineras en curso de modo que se incluyan los parámetros mencionados.

Tabla N° 23

*LMP para descargas de efluentes líquidos de las actividades minero metalúrgicas en el Perú.*

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

*Fuente:* Ministerio de energía y minas 2016.

(\*) Muestra del tipo no filtrada:

- Estos valores señalados en los valores indicados en la columna (Límite en cualquier momento) se aplican a las muestras recogida por el titular de la actividad minero.
- Estos valores señalados en la columna (Promedio anual) se aplican al promedio aritmético de todas las muestras colectadas durante el último año calendario previo a la fecha de referencia, incluyendo las muestras recolectadas por el Titular Minero.

Adicionalmente, se establecen plazos de adecuación que deberán acatar los titulares mineros para cumplir con los LMP. Es así, que de contar con estudios de impacto ambiental aprobados o encontrarse realizando actividad minero – metalúrgica, tienen un plazo de adecuación de 20 meses contados desde la vigencia de este decreto y, por otra parte, donde exista situaciones en donde se requiera un modelo y colocación en operación de nueva infraestructura para el tratamiento así cumplir con los LMP, podrán ser otorgados dentro de los 36 meses , para entonces del titular de la actividad minera presentara su plan de implementación para cumplir con los LMP , además debe describir sus acciones y las inversiones que se ejecutarán y la justificación técnica de la necesidad de un plazo mayor.

Finalmente, cabe señalar que en cumplimiento con lo dispuesto en la segunda disposición complementaria final del D.S. 010-2010-MINAM, se aprobaron mediante Resolución ministerial 030-2011-MEM/DM así los Términos de Referencia de acuerdo a los cuales se hará un Plan de Implementación para así cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para las descargas líquidas producto de la actividad minera metalúrgica, así como el procedimiento de evaluación de dicho plan.

### **Identificación de materiales con Posible poder remediador de aguas acidas de mina.**

Para la identificación de materiales con posible poder remediador de agua acidas de mina se procedió con un recorrido por el área de estudio y alrededores previa revisión bibliográfica de investigaciones pasadas en los cuales se usaron plantas y materiales orgánicos de la sierra peruana para remediar aguas contaminadas por la

industria minera y no solamente con el método de bacteria sulfato reductoras, sino que también con diversos métodos hasta la fitorremediación con plantas endémicas.

A continuación, se mencionan algunos materiales que podrían servir como filtro en el sistema de tratamiento que se plantea:

## PLANTAS



*Figura 6. Cortaderia rudiangular* Stapf.  
*Fuente:* Elaboración propia (2017).



*Figura 7. Schinus molle* L.  
*Fuente:* Elaboración propia (2017).



*Figura 8. Juncus articus Wild.*

*Fuente: Elaboración propia (2017).*



*Figura 9. Triticum aestivum.*

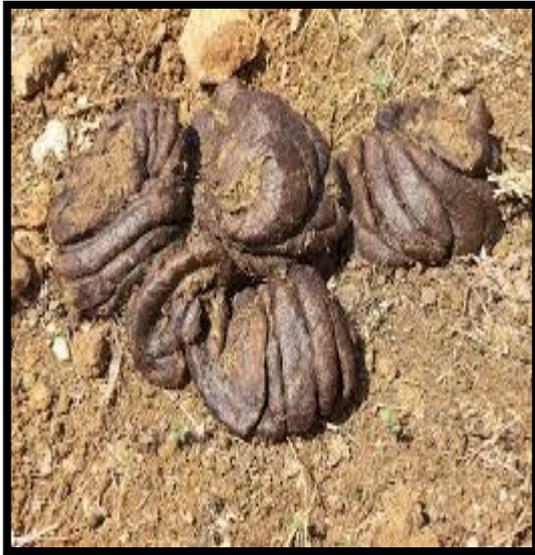
*Fuente: UPCH (2017).*

## *GUANOS DE ANIMALES*



*Figura 10.* Guano del cuy.

*Fuente:* UPCH (2017).



*Figura 11.* Bosta de la vaca.

*Fuente:* UPCH (2017).



*Figura 12.* Guano de pollos.

*Fuente:* UPCH (2017).

## *SUELOS ORGÁNICOS*



*Figura 13. La turba.*

*Fuente: UPCH (2017).*



*Figura 14. El abono compost.*

*Fuente: UPCH (2017).*

Se seleccionó un material de cada grupo sea planta, estiércol de animales y suelos orgánicos, para usarlos como filtro en la columna de tratamiento cabe mencionar que todos estos materiales son propios de la zona, siendo seleccionados para esta investigación los siguientes:

#### **PAJA DEL TRIGO:**

La paja es el tallo seco de ciertas gramíneas, especialmente los cereales llamados comúnmente de “caña” (trigo, avena, centeno, cebada, arroz, etcétera), una vez cortado y desechado, después de haber separado el grano o semilla mediante la trilla.

La altura de la paja varía según las especies y variedades cultivadas. Por ejemplo, ciertos tipos de trigo denominados de caña corta, han sido seleccionados precisamente para prevenir el riesgo de encamado. Sin embargo, existen también tratamientos que permiten limitar el crecimiento de las cañas con el mismo fin.

#### **BOSTA DE LA VACA:**

Este estiércol es el más importante y el que se produce en mayor cantidad en las explotaciones rurales. Conviene a todas las plantas y a todos los suelos, da consistencia a la tierra arenosa y móvil, ligereza al terreno gredoso y refresca los suelos cálidos, calizos y margosos. De todos los estiércoles es el que obra más largo tiempo y con más uniformidad. La duración de su fuerza depende principalmente del género de alimento dado al ganado que lo produce. El mejor estiércol es el que es suministrado por las bestias del cebadero que reciben en general un buen alimento. Los animales flacos, por el contrario, no producen sino un estiércol pobre y de poco valor.

## **TURBA:**

La turba es un material orgánico, de color pardo oscuro y rico en carbono. Está formado por una masa esponjosa y ligera en la que aún se aprecian los componentes vegetales que la originaron. Se emplea como combustible y en la obtención de abonos orgánicos.

## **4.2. EFICIENCIA DE LA COLUMNA DE TRATAMIENTO**

### **4.2.1 PROPUESTA DE TRATAMIENTO:**

Reducir la concentración de los metales en solución de las aguas contaminadas que descargan a la Quebrada Pacchac, utilizando bacterias sulfato reductoras, las cuales generan ácido sulfhídrico e ion bicarbonato producto de la acción metabólica de la bacteria. Es bien conocido que el sulfuro de hidrogeno forma sulfuros insolubles con una gran cantidad de metales pesados los cuales son muy estables, y por otro lado el ion bicarbonato permite aumentar el pH y de esta manera reducir considerablemente la concentración de metales pesado y elevar el pH de la solución.

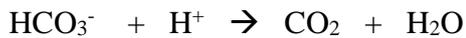
### **4.2.2 PROCESO BACTERIAL EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS.**

La reducción sulfato bacterial ha sido identificada como uno de los procesos por el cual se remueven los metales contaminantes del carbón y drenaje de metales de mina. La bacteria responsable de este proceso es el Desulfovibrio. Esta bacteria requiere condiciones anaeróbicas, bajo Eh y pH neutro (Hedin 1988; Wildeman and Laudon 1989). Bajo condiciones anaeróbicas, la bacteria sulfato reductora, oxida los compuestos orgánicos simples (CH<sub>2</sub>O) con sulfato y de esta forma genera sulfuro de hidrogeno e iones bicarbonatos.

El sulfuro de hidrogeno reacciona con mucho de los metales contaminantes para formar sulfuros metálicos insolubles.



Donde M incluye metales como Fe, Zn, Mn, Ni, Cd, Cu y Pb. Los iones bicarbonato pueden consumir protones para elevar el pH del agua acida.



Las condiciones favorables para que se desarrollen estas bacterias son:

- Exclusión del oxigeno
- Fuente de sulfatos (generalmente el agua contaminada)
- Una fuente simple de compuestos orgánicos como fuente de carbón bacterial, ya que valores de pH menores a 5 inhiben el crecimiento de las bacterias sulfato reductor e incrementa la solubilidad de los sulfuros metálicos de tal manera que el sistema de reducción también debe ser diseñado para generar suficiente alcalinidad (mantener la alcalinidad de las soluciones entrantes).

### **4.2.3 PROCEDIMIENTOS PARA EL TRATAMIENTO:**

#### **EXPERIMENTO: prueba de columna C-1**

##### **Objetivo:**

El objetivo en estas pruebas fue la de comprobar la disminución de la concentración inicial de una solución con alto contenido de metales como en el caso del punto (PM3), además de que su pH se incremente, utilizando un material orgánico propio de la zona.

**Procedimiento:**

- Preparar el equipo necesario para esta prueba. Esto se observa mejor en la figura #1.

**4.2.4 PREPARACIÓN DE LA COLUMNA DE TRATAMIENTO**

**PASO N° 1**

Conseguimos un tubo entero de PVC de 4" seguidamente cortamos el tubo en 3 partes como sigue 50%, 25% y 25%, a la cuales les colocaremos uniones conocidos como male adaptor el cual después de introducir los materiales se vuelvan a unir como si fuese el tubo original (100 %).



*Figura 15.* Tubo PVC de 4".

*Fuente:* Pavco tuberías y conexiones (2017).



*Figura 16. Male adaptor para tubo de 4".*

*Fuente: Pavco tuberías y conexiones (2017).*

## **PASO N° 2**

Una vez tengamos las piezas del tubo cortadas y con sus male adaptor cada uno seguimos con agregarle a cada pieza del tubo los materiales que nos servirán como filtros previo pesaje de cada uno de los materiales con la ayuda de una balanza analítica (ver Tabla N° 23).



*Figura 17. Balanza analítica.*

*Fuente: Química suiza (2017).*

Seguidamente colocamos los materiales en el orden y porcentaje de cantidad de abajo para arriba como sigue: (ver fotografías)

- Turba (50 %)
- Paja (25%)
- Bosta (25%)

### **PASO N° 3**

Una vez colocado los materiales en el orden mencionado seguimos con el proceso de tapado o sellado para lo cual unimos las piezas del tubo haciéndola una sola como al inicio quedando los materiales que nos servirán como filtro dentro del tubo en orden. Para finalizar colocamos un tubo de reducción de 4 a 2 pulgadas a la salida además del tamizado con tela de plástico colocado a ambos lados del tubo para evitar ingresen y salgan solidos de la columna de tratamiento sino solamente agua que será analizada posteriormente.



*Figura 18. Tamizado para tubo de 4”.*

Fuente: Pavco tuberías y conexiones (2017).

### DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PRUEBA DE COLUMNA

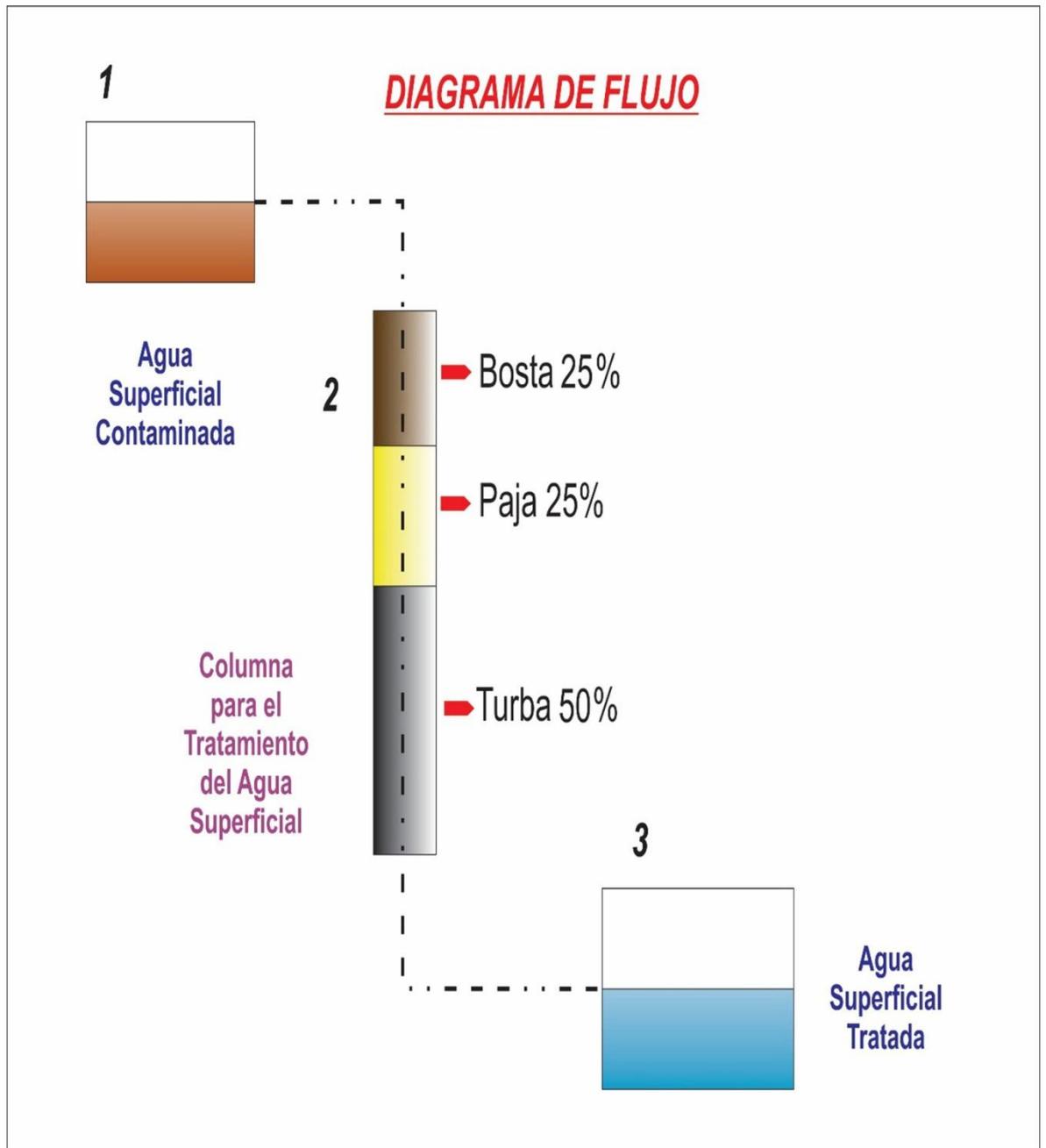


Figura 19. Diagrama de la columna de tratamiento.

Fuente: Elaboración propia (2017).

#### 4.3. DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA:

- 1.- Agua superficial contaminada
- 2.- Columna para el tratamiento del agua superficial
- 3.- Agua superficial tratada

#### 4.4. PRUEBA DE COLUMNAS:

Se preparó la columna y busco materias orgánicas propias de la zona el cual se cargó a la columna una vez instalada esta.

Para la prueba C-1 se alimentó a la columna 4 Kg de turba (50%), 1 kg de paja (25%) y 3 Kg de bosta (desecho orgánico de vaca) en un 25%.

Tabla N° 24

*Materiales para la prueba de columna*

COLUMNA	MATERIAL ORGÁNICO	SOLUCIÓN PROBLEMA	FLUJO
C-1	4 kg de turba (50%), 1kg de paja (25%) más 3 kg de Bosta (25%)	5 litros de solución sintética de Cu.	0.6 lt/m

*Fuente:* Elaboración propia.

Se recolecto nuevamente como en etapa de caracterización el agua del drenaje acido de la mina solo en el punto (PM3), en un balde de 5 litros. Para luego dejar pasar esta agua por la columna de tratamiento en esta parte se midió tanto el caudal (Q) del drenaje acido de mina que descarga a la quebrada en forma de efluente como

también el caudal a la salida de la columna de tratamiento ambos por el método volumétrico usando datos de volumen y el tiempo con el uso del cronometro y el balde de 5 L de volumen cuales resultados se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla N° 25  
*Datos del caudal*

<b>COLUMNA C1</b>	<b>CAUDAL (lt/m)</b>
Caudal al Ingreso de la columna	0.6
Caudal a la salida de la columna	0.23

*Fuente:* Elaboración propia.

La solución para estas pruebas fue la solución del punto PM 3 como anteriormente mencionamos, se tomó el agua al ingreso y a la salida del tubo para el análisis en laboratorio del parámetro metales totales en el cual analizamos el Cobre (cu) presente en el agua por ser el que sobrepaso los límites máximos permisibles en la etapa de caracterización.

Se midió el pH al agua tanto antes del ingreso a la columna como a la salida con el uso de un balde de 5 litros en donde se acumuló el agua y con ayuda del pH metro se realizó la medición in situ cuyo resultado se ven la siguiente tabla.

Tabla N° 26

*Datos de volumen tratado y resultados del pH*

COLUMNA	peso  (kg)	Volumen sol. (litros)			pH	
		mezcla inicial	final	retenido*	inicial	final
C – 1	7	4	1.545	2.455	3.91	6.24

*Fuente:* Elaboración propia.

\* Volumen retenido en la columna (de acuerdo a la altura que tiene el orificio de la descarga de la solución en la columna)

A continuación, se muestran los resultados para el análisis de metales totales realizadas a las muestras a la entrada (inicial) y salida (final), del agua a tratar con el uso de la columna C 1.

Cabe mencionar que es el segundo muestreo al punto de monitoreo (PM3), ya que se le analizo en la etapa de caracterización en el mes de marzo.

Tabla N° 27

*Resultados de la concentración de metales*

COL	Concentración en mg/Lt o (ppm)									Capacidad de retención			
	Fecha	Inicial				Final				Ppm / peso de material Orgánico			
PTO	29/06/17	Cu	Pb	Zn	Fe	Cu	Pb	Zn	Fe	Cu	Pb	Zn	Fe
PM3	29/06/17	0.63	0.06	1.1	1.63	0.21	0.03	0.9	1.22	1.0	-	-	-

*Fuente:* Elaboración propia.

Se observa las tablas de resultados para el punto PM3 para los parámetros pH y cobre los cuales nos dieron resultados favorables tal como se observa se elevó el valor de pH a una cifra aceptable, así como se disminuyó la concentración del cobre en el agua con lo cual se dio culminación a la investigación.

## CAPITULO VI

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS:

Comparando estos últimos resultados de los análisis del agua con el sistema ya instalado con los resultados iniciales en la etapa de caracterización del agua acida se observaron algunos cambios en los cuales se evidencia la reducción para la concentración del metal cobre en disolución a valores aceptables y una mejora para los demás parámetros como el plomo, hierro y zinc.

A continuación, se muestra un cuadro comparativo entre los resultados iniciales, finales y la normativa peruana.

Tabla N° 28

*Resultados preliminares y pilotos de análisis de aguas de la mina Nuncia.*

PARÁMETRO	LIMITE MÁXIMO PERMITIDO DS 010-2010-MINAM	MUESTRA PRELIMINAR	MUESTRA PILOTO (unidad / mg/l)
PH	6-9	3.91	6.24
Cobre	0.5	0.63	0.21
Plomo	0.2	0.06	0.03
Zinc	1.5	1.1	0.9
Hierro	2	1.63	1.22

*Fuente:* Elaboración propia.

Para la obtención de un pH aceptable y por ende la concentración del cobre en el agua acida se tomaron pruebas al sistema una vez instalado por una semana teniendo en el día 2 resultados favorables con un pH de 6,24 así como las concentraciones del

cobre expresados en las tablas, pero pasadas las horas se observó que el pH disminuía hasta valores ácidos cercanos a la inicial, pero nunca por debajo de esta.

En el transcurso de la semana se notó que esto sucedía a partir del 5to día, se asume revisando investigaciones pasadas que es producto de la saturación de los materiales orgánicos usados en el sistema.

- Una vez retirado los materiales orgánicos del sistema se debe llevar éstos a un laboratorio como el de la UPCH (Universidad Peruana Cayetano Heredia), para su análisis y ver que podría estar causando esto, cosa que no se realizó en esta investigación por su alto costo, en una investigación realizada por la UNASAM – Huaraz denominada “Mejoramiento de la calidad del agua acida de la minera Marco –Mancos-Ancash” parecida a esta y usando diferentes materiales orgánicos se determinó que la bosta de la vaca tenía bacterias del tipo disolfovibrio adaptadas al medio filtrante en este caso también el agua acida, la cual a mi parecer no es el inconveniente sino la paja y la turba las que se saturaron y requiere se cambien.
- La eficiencia del sistema de columna se midió en época de estiaje, no se sabe que tan efectiva sea en época en donde hay mayor filtración del agua aumentando esta las concentraciones para los metales caso del cobre.
- La concentración de los demás metales encontrados en el análisis de las muestras como: Zinc (Zn), Hierro (Fe), Plomo (Pb), están por debajo de los límites permitidos, por lo que se podría decir que no causan un daño tan severo al ambiente.

Validando nuestro método y a continuación mostramos un cuadro con los cumplimientos y no cumplimiento de objetivos trazados en un inicio.

## CONCLUSIONES

- Los resultados de los análisis de agua acida del pasivo ambiental de la mina Nuncia demuestran que existe presencia de metales en disolución como el Cobre (Cu), que sobrepasan los límites permitidos por las normas establecidas por el Ministerio del Ambiente, los cuales están siendo liberados a las aguas de la quebrada Pacchac.
- Se determinó una alta concentración de cobre con un valor de 0.63 mg/L, el cual proviene de las infiltraciones que se dan en la parte alta de la mina producto de las intensas lluvias, etc. Debido a ello se forman drenajes ácidos en la parte baja de la mina, contaminando las aguas de la quebrada.
- Entre los materiales identificados con posible poder remediador se seleccionó a tres de ellos, la turba (50%), paja (25%) y bosta de la vaca (25%), los cuales usados en el sistema de bacterias reductoras de sulfato resultaron efectivos para cierto tiempo mejorando la calidad de las aguas acidas del pasivo ambiental de la minera Nuncia.
- EL Ph optimo se obtuvo a los dos días de prueba de la columna alcanzando su mayor valor de 6.4, para después pasados los días de prueba ir disminuyendo hasta valores por debajo del Ph 6, posiblemente por la saturación de alguno de los materiales usados.
- Al elevar el pH hasta 6.4 el óptimo se pudo disminuir la concentración del cobre(Cu) disuelto en el agua a valores aceptables, con 0.21 mg/l como resultado cumpliendo así con la normativa peruana en cuanto a LMP para descargas de agua superficial producto de la actividad minera.
- Esta H<sub>2</sub>O, una vez tratada no es apta para el consumo humano, pero sí para fines agropecuarios, como la bebida de animales y el riego de plantas, etc.

## **RECOMENDACIONES:**

- Identificar y utilizar preferentemente material orgánico de la zona de estudio con posible potencial remediador para luego probarlos en un sistema de tratamiento biológico ya que están al alcance de la mano y en cantidades suficientes para este tipo de pruebas.
- Se recomienda realizar varias pruebas de columna con los materiales orgánicos a escoger considerando diferentes volúmenes para cada uno de ellos así como también diferentes posiciones dentro del sistema de tratamiento esto con el fin de medir su eficacia en el tratamiento de aguas ácidas de mina.
- Incluir entre los materiales orgánicos a usar en un tratamiento biológico con el uso de bacterias sulfato reductoras a la bosta de la vaca ya que se presume sea esta la que contiene la bacteria disulfuvibrio, causante de mejorar la calidad de las aguas ácidas del pasivo ambiental de la minera Nuncia. Los cuales podrían hacer más efectiva la siguiente columna a armar, además de agregar carbón y piedra caliza fuentes de carbono para el desarrollo de dichas bacterias.
- Se recomienda analizar a los materiales orgánicos usados en el sistema una vez estas se saturen con el fin de saber exactamente que bacterias están presentes.
- Una vez que sea retirado el material orgánico usado en el sistema de tratamiento como el mencionado, considerar a estos como residuos peligrosos, dándoles una adecuada disposición final, ya que estos podrían contener metales, los cuales al ser tirados al medio ambiente contaminarían nuevamente el área.
- Incentivar entre los pobladores del distrito de Ataquero el uso de métodos ecológicos para el tratamiento de aguas ácidas producto de la actividad minera en la zona.

- De las lecciones aprendidas considerar los siguientes:

Tomar en cuenta la accesibilidad del área de estudio antes de implementar el método de tratamiento.

Considerar la estación del año ya que en época de precipitación la cantidad de agua del drenaje ácido aumenta considerablemente por filtración, así como las concentraciones de los metales y por lo tanto el pH baja.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akport, O., y M. Muchie (2010). *Remediation of heavy metals in drinking water and wastewater treatment systems: Processes and applications*. International Journal of the Physical Sciences.
- Álvarez, M., Pozzo, T. y Mattiasson, B. (2007). *Enhancement of sulphide production in anaerobic packed bed bench-scale biofilm reactors by sulphate reducing bacteria*. Biotechnology Letters.
- ANA (2009). *Autoridad Nacional del Agua. Política y estrategia nacional de recursos hídricos del Perú*. Recuperado el 19 de enero del 2018, de [http://www.ana.gob.pe/media/532987/politicas\\_estrategias\\_rh.pdf](http://www.ana.gob.pe/media/532987/politicas_estrategias_rh.pdf).
- ANA-Autoridad nacional del agua (2015). *Disponibilidad hídrica en el Perú*. Lima – Perú.
- Aparicio, R., Mejía, A. e Ingol, E. (2014). *Tratamiento del drenaje ácido de mina mediante bacterias sulfatos reductores: Caso Minera Iscaycruz*. Lima – Perú.
- Bebbington, A. y Williams, M. (2008). *Water and Mining Conflicts in Peru*. Mountain Research and Development.
- Bebbington, A., Humphreys, D., y Bury, Y. (2010). *Federating and Defending: Water, Territory and Extraction in the Andes*. En *Out of the Mainstream*, de Rutgerd Boelens, Armando Guevara y David Getches. London: Earthscan.
- Buisman, C., Boonstra J., Krol, J. SDijkman H. (1996). *Biotechnological removal of sulfate and heavy metals from contaminated waters extracted by a geohydrological control system*. TranslChemE.

- Christiansen B., Laake, M. and Lien, T. (1996). *Treatment of acid mine water by sulfate-reducing bacteria; results from a bench scale experiment*. Water Res.
- Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (2008). *La influencia de la minería en la calidad de las aguas del rio Santa (Huaraz 2008)*.
- Comunidad Andina (2010). *El agua de los Andes: un recurso clave para el desarrollo e integración de la región*. Lima: Secretaría General.
- Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades mineras.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.
- Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación.
- Gutiérrez, A., Terrazas, L. y Álvarez, M. (2009). *Cultivo a escala de laboratorio de bacterias sulfato reductoras acidófilas y su aplicación en procesos de biorremediación utilizadas para la precipitación de metales pesados*. Bolivia: Universidad Nacional Mayor de San Andrés.
- Hyman, D. y Watzlaf, G. (1995). *Mine drainage characterization for the successful design and evaluation of passive treatment systems*. Indiana: 17th Annual National Association of Abandoned Mine Lands Conference,
- Isch, E. (2011). *La contaminación del agua como proceso de acumulación*. En Justicia hídrica: acumulación conflicto y acción social, de Rutgerd Boelens,

- Leontien Cremers y Margreet Zwarteveen. Lima: Instituto de Estudios Peruanos, Fondo editorial PUCP.
- Jong, T. & Parry. D. (2003). *Removal of sulfate and heavy metals by sulfate reducing bacteria in short-term bench scale up flow anaerobic packed bed reactor runs*. Water Res.
- Kaksonen A., Riekkola-Vanhanen M., & Puhakka J. (2003). *Optimization of metal sulphide precipitation in fluidized-bed treatment of acidic wastewater*. Water Res.
- Kuroiwa, J. (2012). *Recursos Hídricos en el Perú*. En Diagnóstico del Agua en las Américas. Red Interamericana de Academias de Ciencias, editado por Blanca Jimenez y José Galiza. México: IANAS.
- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente (2008).
- Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos (2009).
- Ley N° 28271, Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera (2004).
- Lyew D. & Sheppard J. (1997). *Effects of Physical Parameters of a Gravel Bed on the Activity of Sulphate-Reducing Bacteria in the Presence of Acid Mine Drainage*. J. Chem, Technol. Biotechnol.
- Mills, A. (1999). *The role of bacteria in environmental geochemistry*. En: G.S. Plumlee and M.J. Logsdon (eds.), *The environmental geochemistry of mineral deposits*. USA: Reviews in Economic Geology, SEG, Littleton.
- Ministerio de Energía y Minas. (2015). *Guía para la elaboración de planes de cierre de pasivos ambientales mineros*. Recuperado el 15 de enero del 2018, de

<http://www.ramosdavila.pe/media/Leer-la-Gu%C3%ADa-para-la->

[elaboraci%C3%B3n-de-Planes-de-Cierre-de-Pasivos-Ambientales-Mineros.pdf](#).

Nordstrom y Alpers (1999), Estudio y modelización geoquímica de las aguas ácidas del lago minero de la corta Aznalcóllar. Estados Unidos: Academia Natural de Ciencias.

Nordstrom, D. y Alpers, C. (1999). *Geochemistry of acid mine waters*. En: Plumlee, G.S., Logsdon, M.J. (eds), *The environmental geochemistry of mineral deposits*. USA: Reviews in Economic Geology, SEG, Littleton.

Orlove, B. y Steven, C. (2010). *Water Sustainability: Anthropological Approaches and Prospects*. Annual Review of Anthropology.

Palomino, Paredes y Villanueva (2004); Biorremediación de Drenajes Ácidos de Mina (DAM) mediante el sistema de humedales”, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM). Tomado del IV Congreso Internacional de Medio Ambiente en Minería y Metalurgia, 13-16 de Julio del 2005.

Preciado, R. (2011). *El agua y las industrias extractivas en el Perú: un análisis desde la Gestión Integrada de Recursos Hídricos*. En Agua e industrias extractivas: cambios y continuidades en los Andes, editado por Patricia Urteaga. Lima: Instituto de Estudios Peruanos.

Resolución Jefatural N.º 145-2016-ANA. Modificación del reglamento para el otorgamiento de Autorizaciones de vertimiento y reusó de aguas residuales tratadas.

Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA. Aprueban el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales".

- Sabogal, A. (2009). *Distribución del agua en el Perú desde una perspectiva de cuenca.*» *Debates en Sociología.*
- Simate, G. y Ndlovu, S. (2014). *Acid mine drainage: Challenges and opportunities.* Journal of Environmental Chemical Engineering.
- Skousen, J., Rose, A., Geidel, G., Foreman, J., Evans, R. y Hellier, W. (1998). *Handbook of technologies for avoidance and remediation of acid mine drainage.* USA: Published by The National Mine Land Reclamation Center, West Virginia University, Morgantown, and West Virginia.
- Urteaga, P. (2011). *Agua e industrias extractivas: cambios y continuidades en los Andes.* En *Agua e industrias extractivas: cambios y continuidades en los Andes*, editado por Patricia Urteaga. Lima: Instituto de Estudios Peruanos.
- USEPA, 1994, "Acid Mine Drainage Prediction", U.S. Environmental Protection Agency - Office of Solid Waste - Special Waste Branch, EPA.
- Villachica, Carlos; Llamosas Jaime y Villachica Joyce; Smallvill S.A.C. (2005) – Proceso NCD "Tecnología Nacional comprobada para el tratamiento de efluentes ácidos mineros", CONSULCONT S.A.C.
- Widdel F. y Hansen TA. (1991). *The dissimilatory sulphate and sulphur-reducing bacteria In The Prokaryotes.* New York: Springer.

## **ANEXOS**

**ANEXO N° 1:**

**REGISTRO FOTOGRÁFICO**



**Fotografía N° 1.- Quebrada Pacchac en Ataquero.**



**Fotografía N° 2.- Curso de agua de la quebrada.**



**Fotografía N° 3.- Drenaje acido en la parte baja de la quebrada (PM1).**



**Fotografía N° 4.- Drenaje acido en la parte media de la quebrada (PM2).**



**Fotografía N° 5.- Drenaje acido en la parte alta de la quebrada (PM3).**



**Fotografía N° 6.- Coloración del drenaje.**



**Fotografía N° 7.- Paja del trigo.**



**Fotografía N° 8.- Bosta de la vaca.**



**Fotografía N° 9.- La turba.**



**Fotografía N° 10.- Columna de tratamiento.**



**Fotografía N° 11.-Tamizado con tela.**



**Fotografía N° 12.- Columna de tratamiento.**



**Fotografía N° 13.- Muestras de agua.**



**Fotografía N° 14.- Muestreo del agua.**

ANEXO N° 2:

**APRUEBAN EL “PROTOCOLO NACIONAL PARA EL MONITOREO DE  
LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES”**

## AGRICULTURA Y RIEGO

**Aprueban el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales"****RESOLUCIÓN JEFATURAL  
N° 010-2016-ANA**

Lima, 11 de enero de 2016

Expediente : CUT - 135807 - 2015

Materia : Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos

**VISTO:**

El Memorando N° 2484-2015-ANA-DGCRH de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos; y,

**CONSIDERANDO:**

Que, conforme el artículo 15° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, es función de la Autoridad Nacional del Agua, dictar normas y establecer procedimientos para asegurar la gestión integral y sostenible de los recursos hídricos;

Que, según el artículo 76° de la acotada Ley, la Autoridad Nacional del Agua en el lugar y el estado físico en que se encuentre el agua, sea en sus cauces naturales o artificiales, controla, supervisa y fiscaliza el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del agua sobre la base de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y las disposiciones y programas para su implementación establecidos por la autoridad del ambiente. También establece medidas para prevenir, controlar y remediar la contaminación del agua y los bienes asociados a esta. Asimismo, implementa actividades de vigilancia y monitoreo, sobre todo en las cuencas donde existan actividades que pongan en riesgo la calidad o cantidad de recurso;

Que, el artículo 126° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, aprobado mediante Decreto Supremo N° 001-2010-AG, establece que el monitoreo de la calidad de las aguas, en el marco del Plan Nacional de Vigilancia de la Calidad del Agua, se efectúa de acuerdo con el protocolo aprobado por la Autoridad Nacional del Agua;

Que, asimismo el artículo 6° de las Disposiciones para la Implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, aprobado por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, y modificado por Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, prescribe que la

autoridad competente establece el protocolo de monitoreo de la calidad ambiental del agua, en coordinación con el MINAM y la participación de los sectores respectivos;

Que, el "Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial" fue aprobado mediante Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA;

Que, con Resolución Jefatural N° 251-2015-ANA se prepublicó un proyecto de protocolo nacional de monitoreo de la calidad de los cuerpos naturales de agua superficial, para que durante el plazo de quince (15) días hábiles, se reciban los opiniones y comentarios respectivos;

Que, con documento del visto, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos remite el Informe Técnico N° 175-2015-ANA-DGCRH/GECRH-MEPB/KH y la nueva propuesta de Protocolo que propone estandarizar criterios y procedimientos técnicos para evaluar la calidad de los recursos hídricos, continentales y marino costeros, considerando las normas internacionales en su última actualización y estableciendo mayores precisiones para el monitoreo; propuesta que contempla los aportes, comentarios y sugerencias efectuados por las autoridades ambientales correspondientes;

Que, en tal sentido el citado informe recomienda se apruebe el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, ello en cumplimiento a lo previsto en el artículo 6° de las Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, aprobadas por el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, modificado por Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM;

Que, por lo expuesto resulta necesario dictar el acto administrativo que apruebe el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, y deje sin efecto la Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA;

Con el visto de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la Oficina de Asesoría Jurídica y de la Secretaría General, y en uso de las facultades conferidas en el artículo 11° del Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua aprobado por Decreto Supremo N° 006-2010-AG;

**SE RESUELVE:**

**Artículo 1°.- Aprobación**

Aprobar el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales", que forma parte integrante de la presente resolución.

**Artículo 2°.- Publicación**

Disponer la publicación de la presente resolución y del Protocolo aprobado mediante el artículo precedente en el portal institucional de la Autoridad Nacional del Agua: [www.ana.gob.pe](http://www.ana.gob.pe).

**Artículo 3°.- Derogatoria**

Dejar sin efecto la Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

JUAN CARLOS SEVILLA GILDEMEISTER  
Jefe  
Autoridad Nacional del Agua

1332776-1 \_\_\_\_\_

**ANEXO N° 3:**

**RESULTADOS DE LABORATORIO**

## Resultados Iniciales



**SAG**

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



### INFORME DE ENSAYO N° 11554-2017 CON VALOR OFICIAL

**RAZON SOCIAL:** ERICK MANUEL CADILLO NIETO  
**DOMICILIO LEGAL:** JR. MANUEL TORRES S/N -ACOPAMPA-CARHUAZ  
**SOLICITADO POR:** ERICK MANUEL CADILLO NIETO  
**REFERENCIA:** MONITOREO DE LAS DESCARGAS DE LAS AGUAS ACIDAS DE LA MINERA NUNCIA  
 TESIS -UNFV  
**PROCEDENCIA:** ATAQUERO-CARHUAZ-ANCASH  
**FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:** 2017-02-13  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYOS:** 2017-02-14

**1.- METODOLOGIA DE ENSAYO:**

ENSAYO	METODO	L.C	UNIDADES
Metales Totales (Cu,Pb,Zn,Fe)	EPA Method 6020A; (Preparación de muestra: EPA Method 3005A, 1992). 2007. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (Acid Digestion of Waters for Total Recoverable or Dissolved Metals for Analysis by FLAA or ICP Spectroscopy).	...	mg/L
PH	SM 4500 H+ B. pH Value. Electrometric Method	...	Unid.pH

L.C: Limite de cuantificación.

(a) : expresada como limite de cuantificación del método

Lima, 21 de febrero del 2017

Página 1 de 2

SM: standard Methods for the Examination of water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF. 22nd.Edition 2012.EPA: U. S Environmental protection Agency.ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica peruana.  
**OBSERVACIONES:** Está prohibida parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita por Servicios Analíticos generales S.A.C. solo es válido para las muestras referidas en el presente informe. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.  
 NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad que lo produce.

**SERVICIOS ANALITICOS GENERALES S.A.C.**

Laboratorio: Av. Naciones Unidas N° 1565-Urb. Chacra Rios Norte -Lima 01-Peru.**Central Telefónica** (511) 4257227-425-6885  
 Website [www.Sagperu.com](http://www.Sagperu.com) Contacto Electrónico: [Sagperu@sagperu.com](mailto:Sagperu@sagperu.com) / Laboratorio@sagperu.com



INFORME DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL -DA  
CON REGISTRO N° LE-047



II.- RESULTADOS:

Producto declarado		Agua Superficial
Matriz analizada		Agua Superficial
Fecha de muestreo		2017-02-12
Hora de inicio del muestreo(h)		09:00
Condiciones de la muestra		Refrigerada y preservada
Código del cliente		W-MN-02-17
Código del laboratorio		11554
Ensayos	Unidades	Resultados
Cobre (Cu)	mg/L	0.63
Plomo (Pb)	mg/L	0.06
Zinc (Zn)	mg/L	1.1
Hierro (Fe)	mg/L	1.63
*PH	Unid.PH	3.91

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

\*Parámetro medido en campo a una Temperatura de 18 °C.

Lima, 21 de febrero del 2017

Página 2 de 2

SM: standard Methods for the Examination of water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF. 22nd Edition 2012.EPA: U. S Environmental protection Agency.ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica peruana.

**OBSERVACIONES:** Está prohibida parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita por Servicios Analíticos generales S.A.C. solo es válido para las muestras referidas en el presente informe. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio. **NOTA:** Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad que lo produce.

**SERVICIOS ANALITICOS GENERALES S.A.C.**

Laboratorio: Av. Naciones Unidas N° 1565-Urb. Chacra Rios Norte -Lima 01-Peru, Central Telefónica (511) 4257227-425-6885  
Website [www.Sagperu.com](http://www.Sagperu.com) Contacto Electrónico: [Sagperu@sagperu.com](mailto:Sagperu@sagperu.com) / [Laboratorio@sagperu.com](mailto:Laboratorio@sagperu.com)

# Resultados Finales



## INFORME DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL -DA CON REGISTRO N° LE-047



### INFORME DE ENSAYO N° 11677-2017 CON VALOR OFICIAL

**RAZON SOCIAL:** ERICK MANUEL CADILLO NIETO  
**DOMICILIO LEGAL:** JR. MANUEL TORRES S/N -ACOPAMPA-CARHUAZ  
**SOLICITADO POR:** ERICK MANUEL CADILLO NIETO  
**REFERENCIA:** MONITOREO DE LAS DESCARGAS DE LAS AGUAS ACIDAS DE LA MINERA NUNCIA  
TESIS -UNFV  
**PROCEDENCIA:** ATAUQUERO-CARHUAZ-ANCASH  
**FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:** 2017-06-20  
**FECHA DE INICIO DE ENSAYOS:** 2017-06-21

#### 1.- METODOLOGIA DE ENSAYO:

ENSAYO	METODO	LC	UNIDADES
Metales Totales (Cu,Pb,Zn,Fe)	EPA Method 6020A; (Preparación de muestra: EPA Method 3005A, 1992). 2007. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (Acid Digestion of Waters for Total Recoverable or Dissolved Metals for Analysis by FLAA or ICP Spectroscopy).	...	mg/L
PH	SM 4500 H+ B. pH Value. Electrometric Method	...	Unid.pH

LC: Límite de cuantificación.

(a) : expresada como límite de cuantificación del método

Lima, 29 de junio del 2017

Página 1 de 2

SM: standard Methods for the Examination of water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF. 22nd Edition 2012. EPA: U. S Environmental protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica peruana  
**OBSERVACIONES:** Está prohibida parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita por Servicios Analíticos generales S.A.C. solo es válido para las muestras referidas en el presente informe. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.  
**NOTA:** Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad que lo produce.

#### SERVICIOS ANALITICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio: Av. Naciones Unidas N° 1565-Urb. Chacra Rios Norte -Lima 01-Peru. Central Telefónica (511) 4257227-425-6885  
Website [www.Sagperu.com](http://www.Sagperu.com) Contacto Electrónico: [Sagperu@sagperu.com](mailto:Sagperu@sagperu.com) / Laboratorio@sagperu.com



INFORME DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL -DA  
CON REGISTRO N° LE-047



II.- RESULTADOS:

Producto declarado		Agua Superficial
Matriz analizada		Agua Superficial
Fecha de muestreo		2017-06-19
Hora de inicio del muestreo(h)		08:30
Condiciones de la muestra		Refrigerada y preservada
Código del cliente		W-MN-06-17
Código del laboratorio		11677
Ensayos	Unidades	Resultados
Cobre (Cu)	mg/L	0.21
Plomo (Pb)	mg/L	0.03
Zinc (Zn)	mg/L	0.9
Hierro (Fe)	mg/L	1.22
*PH	Unid.PH	6.24

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

\*Parámetro medido en campo a una Temperatura de 20 °C.

Lima, 29 de junio del 2017

Página 2 de 2

SM: standard Methods for the Examination of water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF. 22nd.Edition 2012.EPA: U. S Environmental protection Agency.ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica peruana.  
**OBSERVACIONES:** Está prohibida parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita por Servicios Analíticos generales S.A.C. solo es válido para las muestras referidas en el presente informe. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.  
**NOTA:** Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad que lo produce.

**SERVICIOS ANALITICOS GENERALES S.A.C.**

Laboratorio: Av. Naciones Unidas N° 1565-Urb. Chacra Ríos Norte -Lima 01-Peru.Central Telefónica (511) 4257227-425-6885  
Website [www.Sagperu.com](http://www.Sagperu.com) Contacto Electrónico: [Sagperu@sagperu.com](mailto:Sagperu@sagperu.com) / [Laboratorio@sagperu.com](mailto:Laboratorio@sagperu.com)

**ANEXO N° 4:**

**GLOSARIO**

**AEROBIO.** - Se denominan aerobios o aeróbicos a los organismos que pueden vivir o desarrollarse en presencia de oxígeno diatómico, mientras que si lo necesitan se denominan aerobios estrictos.

**AGLOMERADO.** - Brecha de trozos Angulosos, constituido casi totalmente, por fragmento de rocas volcánicas.

**AGREGADO.** -Masa de materiales cementados como el concreto.

**ALEACION.** - Una mezcla homogénea de dos o más metales obtenida por fusión.

**ANAERÓBICA.** - Que es capaz de vivir o desarrollarse en un medio sin oxígeno.

**AURIFERO.** - Que contiene Oro

**AZIMUT.** - Angulo que se mide hacia la derecha a partir del norte magnético o geográfico.

**BACTERIA.** - Las bacterias son microorganismos procariotas que presentan un tamaño de

**BENEFICIAR.** - Tratamiento mecánico para separar los minerales valiosos de los estériles.

**BUZAMIENTO.** -Inclinación de la veta con respecto a la horizontal.

unos pocos micrómetros (por lo general entre 0,5 y 5  $\mu\text{m}$  de longitud)

**CADUCAR.** -Perder un derecho sobre un denuncia por falta de cumplimiento de una de las estipulaciones legales.

**COCHA.** -Lago, laguna, o pequeños depósitos de agua, cocha de relaves.

**COSTO DE BENEFICIO.** - Costo unitario que incluye todos los gastos desde el mineral ingresa a la planta de beneficio hasta que sale el producto final.

**COSTO DE MINA.** -costo unitario que suma los costos unitarios del desarrollo de preparación y de explotación.

**CUENCA HIDROGRAFICA.** - o cuenca de drenaje; territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar o a un lago corriendo a través de un único río.

**DAR.** - Drenaje ácido de roca.

**DAM.** - Drenaje ácido de mina.

**DELIMITACION.** - operación topográfica para ubicar los hitos de una concesión, estableciendo con precisión los límites de ella.

**DENUNCIO.** - Acto de solicitar el amparo de las leyes para adquirir un derecho minero.

**DE SULFITO.** - Bacteria responsable de descontaminar el DAR.

**DETONAR.** - Explosionar un fulminante.

**DINAMITA.** - Explosivos de alta calidad que debe manejarse con cuidado.

**EFLUENTE.** - corresponde a un curso de agua, también llamado distributivo, que desde un lugar llamado confluencia se desprende de un lago o río como una derivación menor, ya sea natural o artificial.

**EH.** - Potencial eléctrico

**E.I.A.-** Estudio de Impacto ambiental

**ESTIAJE.** - Nivel más bajo o caudal mínimo de un río u otra corriente durante una época del año determinada.

**FILON.** - Veta.

**FLUVIAL.** - Depósito de arena y grava efectuada por los ríos.

**FRENTE.** - Frontón, lugar de avance en el trabajo de una galería, media barreta, etc., se utiliza generalmente tratándose de labores más o menos horizontales.

**IMPACTO AMBIENTAL.** - El impacto ambiental es el efecto que produce la actividad humana sobre el medio ambiente. El concepto puede extenderse a los efectos de un fenómeno natural catastrófico.

**ION.** - o ión es una partícula cargada eléctricamente constituida por un átomo o molécula que no es eléctricamente neutro.

**LEY.** - Porcentaje de minerales útiles en los minerales.

**LIQUIDO.** -Sustancia cuyas partículas presentan mayor movilidad que los sólidos y menor que los gases, y no presentan una forma propia determinada, pero sí un volumen fijo que se distribuye en el recipiente que lo contiene adaptándose a su forma.

**OXIDO.** - Capa de color rojizo que se forma en la superficie del hierro y otros metales a causa de la oxidación provocada por la humedad o el agua.

**PAJA.** -La paja es el tallo seco de ciertas gramíneas, especialmente los cereales llamados comúnmente de “caña” (trigo, avena, centeno, cebada, arroz, etcétera), una vez cortado y desechado, después de haber separado el grano o semilla mediante la trilla.

**PASIVOS AMBIENTALES.** - Son considerados pasivos ambientales aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad, abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad.

**PAMA.** - Programa de adecuación y manejo ambiental.

**PEPITA.** - Pequeño trozo de oro de forma redondeada que se encuentra en los depósitos aluviales.

**PH.** - Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa

**QUEBRADA.** - En geografía, una quebrada designa un paso estrecho entre montañas que forma una especie de lago; y por tanto, equivale a desfiladero.

**REDUCCIÓN SULFATO BACTERIAL.** - Proceso por el cual se remueven los metales contaminantes del drenaje de mina.

**RESIDUOS.** - La basura es todo el material y producto no deseado considerado como desecho y que se necesita eliminar porque carece de valor económico. ...

**RUMBO.** - Dirección de la veta.

**TROY.** - Sistema de pesos para minerales preciosos.

**TURBA.** - mezcla de desechos orgánicos y materiales inorgánicos descompuestos por la acción de aguas subterráneas, superficiales y de lluvia. Durante mucho tiempo

**SISTEMA.** - Conjunto ordenado de normas y procedimientos que regulan el funcionamiento de un grupo o colectividad.