

**UNIVERSIDAD INCA GARCILASO DE LA VEGA**

**ESCUELA DE POSGRADO**



**Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible**

**TESIS:**

**APLICACIÓN DEL HIPOCLORITO DE SODIO (NaClO) EN LA REDUCCIÓN DE  
LA CONCENTRACIÓN DEL  $Mn^{+2}$  PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD  
DEL AGUA DEL RIO YAULI**

Para optar el Grado Académico de Doctor en:

**Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible**

**Autor:**

**RICARDO CASTILLO UNGARO**

**Asesor:**

**Dr. VÍCTOR PULIDO CAPURRO**

Lima – Perú – 2021

## ÍNDICE

<b>Dedicatoria</b>	2
<b>Agradecimiento</b>	3
<b>RESUMEN</b>	4
<b>ABSTRACT</b>	5
<b>INTRODUCCIÓN</b>	6

### **CAPÍTULO I:**

#### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

1.1	Marco Histórico	8
1.2	Marco Teórico	13
1.3	Investigaciones y Marco Legal	16
1.4	Marco Conceptual	27
1.5	Marco Filosófico	30

### **CAPÍTULO II:**

#### **EL PROBLEMA, OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y VARIABLES**

2.1	Planteamiento del Problema	40
2.1.1	Descripción de la Realidad Problemática	40
2.1.2	Antecedentes Teóricos	41
2.1.3	Definición del Problema	46
2.2	Finalidad y Objetivos de la Investigación	47
2.2.1	Finalidad	47
2.2.2	Objetivo General y Específicos	47
2.2.3	Delimitación del Estudio	48
2.2.4	Justificación e Importancia del Estudio	50

2.3	Hipótesis y Variables	51
2.3.1	Supuestos Teóricos	51
2.3.2	Hipótesis Principal y Específicas	52
2.3.3	Variables e Indicadores	52

### **CAPÍTULO III:**

#### **MÉTODO, TÉCNICA E INSTRUMENTOS**

3.1	Población y Muestra	54
3.2	Diseño a utilizar en el estudio	58
3.3	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	58
3.4	Procesamiento de Datos	58

### **CAPÍTULO IV:**

#### **PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

4.1	Presentación de Resultados	65
4.2	Contrastación de Hipótesis	75
4.3	Discusión de Resultados	76

### **CAPÍTULO V:**

#### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones	81
5.2	Recomendaciones	83

<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>85</b>
---------------------	-----------

<b>ANEXOS</b>	<b>88</b>
---------------	-----------

## RESUMEN

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la Unidad Minera Yauli-La Oroya-Junín; perteneciente a la Compañía Minera Volcán S.A.A. En esta zona se encuentran las minas por donde se evacuan las aguas en estudio, estas se denominan Carahuacra y San Cristobal. Las labores mineras subterráneas generan aguas ácidas, cuyo pH está comprendida entre 2 y 6. Actualmente, el Ministerio del Ambiente (MINAM), ha generado un dispositivo legal donde se contempla la concentración máxima (LMP) y debajo de el estos elementos disueltos pueden ser vertidos a un cuerpo receptor, sin perjudicar o contaminar las aguas naturales. La normativa legal actual no contemplaba el metal disuelto manganeso ( $Mn^{+2}$ ) hasta el año 2021, fecha donde se implementará a nivel nacional su monitoreo y supervisión. Las empresas deberán adecuarse a este nuevo dispositivo legal anunciado hace aproximadamente 5 años atrás. Por lo tanto, la Compañía dispuso realizar las investigaciones referidas a remover o reducir el  $Mn^{+2}$ , cuyo LMP es de 0.2 mg/L; cabe indicar que los otros metales básicos están controlados. El agua ácida en estudio que sale por la bocamina tiene un pH en un rango de 3.5 a 5.5 y con una concentración de  $Mn^{+2}$  de 250 mg/L (ppm); por lo tanto, el objetivo de la investigación es reducir este nivel de concentración por debajo de 0.2 mg/L. Se realizaron las pruebas a diferentes pH, concentraciones (%) y consumos de hipoclorito de sodio (mg/L); lográndose una remoción del 99.96% del  $Mn^{+2}$ . El rango óptimo de pH logrado en las pruebas está comprendido entre 8.0 y 8.8, mientras que la concentración y consumo del hipoclorito de sodio, responden a 0.05% y 1.0 mg/L respectivamente. Finalmente, el estudio podrá ser utilizado por otras compañías para reducir el ion  $Mn^{+2}$  presente en las aguas ácidas y, por lo tanto, es un aporte al servicio de la industria y también para controlar y mejorar el ecosistema y prevenir la contaminación, como en este caso el agua.

**Palabras Claves:** Aplicación del hipoclorito de sodio; Reducción de la concentración del  $Mn^{+2}$ ; Límite Máximo Permisible (LMP); Calidad del agua (categoría III).

## ABSTRACT

The research work was carried out at the Yauli-La Oroya-Junín Mining Unit, belonging to Compañía Minera Volcan S.A.A. In this area are the mines where the waters under study are evacuated, these are called Carahuacra and San Cristobal. Underground mining works generate acidic waters, whose pH is between 2 and 6. Currently, the Ministry of the Environment (MINAM), has generated a legal device where the maximum concentration (LMP) is contemplated and below it these dissolved elements can be discharged to a receiving body, without harming or polluting natural waters. The current legal regulations did not contemplate the dissolved metal manganese ( $Mn^{+2}$ ) until 2021, the date when its monitoring and supervision will be implemented at the national level. Companies must adapt to this new legal device announced approximately 5 years ago. Therefore, the Company decided to carry out investigations related to removing or reducing  $Mn^{+2}$ , whose LMP is 0.2 mg / L; It should be noted that the other base metals are controlled. The acidic water under study that comes out through the pithead has a pH in a range of 3.5 to 5.5 and with a concentration of  $Mn^{+2}$  of 250 mg / L (ppm); therefore, the goal of the research is to reduce this concentration level below 0.2 mg / L. The tests were carried out at different pH, concentrations (%) and sodium hypochlorite consumption (mg / L), achieving a removal of 99.96% of the  $Mn^{+2}$ . The optimal pH range achieved in the tests is between 8.0 and 8.8, while the concentration and consumption of sodium hypochlorite respond to 0.05% and 1.0 mg / L respectively. Finally, the study can be used by other companies to reduce the  $Mn^{+2}$  ion present in acidic waters and, therefore, it is a contribution to the service of the industry and also to control and improve the ecosystem and prevent pollution, such as in this case the water.

**Key words:** Application of sodium hypochlorite; Reduction of the concentration of  $Mn^{+2}$ ; Maximum Permissible Limit (LMP); Water quality (category III).

## INTRODUCCIÓN

La Compañía Minera Volcán, la mayor empresa minera polimetálica de la sierra central del Perú, explota minerales, tales como sulfuros de plomo, sulfuros de cobre, sulfuros de zinc y sulfuros de plata; estos en sus unidades principales como Paragsha (Cerro de Pasco), Alpamarca (Pasco), Chungar (Pasco), Yauli (Junín). Debido a las labores de extracción de los minerales, estas dan lugar a la generación de aguas ácidas, las cuales, al ser evacuadas a la superficie, son vertidas a un cuerpo receptor como en este caso, el río Yauli, aledaño a la UEA (Unidad Económica Administrativa) - Yauli.

La UEA Yauli, vio por conveniente tratar esta agua ácidas y planteo a la alta dirección de la compañía, realizar un estudio para tal fin. El estudio recayó en la empresa Consulcont S.A., quienes realizaron la ingeniería conceptual, básica y de detalle para la instalación de la planta de neutralización de aguas ácidas; esto sucedió en el año 2000. La puesta en marcha de esta planta de neutralización dinámica con relaves (NDR) en el año 2003, trajo consigo, la recuperación del río Yauli (flora y fauna) que a través de muchos años atrás estuvo contaminada por la descarga de las aguas ácidas.

La planta de neutralización, actualmente cumple con la normativa D.S. 010-2010-LMP-MINAM - Límites Máximos Permisibles; el cual contempla el control y reducción de los contaminantes por metales pesados en forma iónica en el agua (Fe, Cu, Pb, Zn, entre otros); pero, en esa oportunidad no se contemplaba el elemento manganeso o ion  $Mn^{+2}$ ; hoy en día la normativa denominada Estándar de Calidad Ambiental - ECA, D.S. N° 004-2017-MINAM, contempla este elemento y da un plazo de adecuación a las empresas cuyas aguas generadas por sus actividades contengan este elemento, a que se adecuen al límite máximo permisible  $< 0.2 \text{ mg/L}$ ; el plazo de adecuación aún está vigente, entrará en rigoren el 2021, por lo tanto las empresas están realizando ensayos y pruebas para controlar y reducir el manganeso presente en las aguas ácidas generadas en la explotación minera.

El tema de tesis es controlar y reducir el ion manganeso  $Mn^{+2}$  en las aguas ácidas provenientes de la operación minera en la UEA -Yauli-Compañía Minera Volcán. Luego de revisar diferentes pruebas y métodos empleados en países extranjeros, es que se vio por conveniente el uso de un agente oxidante como el hipoclorito de sodio y a un determinado pH alcalino, de tal manera, que se convierta en una sal insoluble y pueda ser removido como tal. La elección del hipoclorito de sodio fue por su bajo costo, accesibilidad y sobre todo por su eficiencia en la remoción del elemento en estudio. Cabe mencionar que la concentración del ion manganeso en el agua ácida que se evacua del interior de la mina, está en un rango de 100 a 250 mg/L y las pruebas que se llevaran a cabo con el producto químico en mención, deberá reducirlo a valores por debajo de 0,2 mg/L como contempla la normativa ECA.

## **CAPÍTULO I:**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Marco Histórico**

El hierro y el manganeso son los metales más abundantes de la corteza terrestre y suelen encontrarse siempre asociados entre sí. Cuando se trata de origen natural, en el agua subterránea existe mayor concentración de hierro y manganeso debido a actividad bacteriana, al bajo pH, a la alta concentración de CO<sub>2</sub> y al escaso contenido de oxígeno disuelto. (Restrepo, Galvis, Rojas, & Sanabria, 2007).

El manganeso es un elemento químico de número atómico 25 situado en el grupo 7 de la tabla periódica de los elementos, se simboliza como Mn y tiene una masa atómica de tiene 54.938 g/mol.

Se encuentra como elemento libre en la naturaleza, a menudo en combinación con el hierro y en muchos minerales. Como elemento libre, el manganeso es un metal que se utiliza en aleación de metales industriales con importantes usos, sobre todo en los aceros inoxidables.

El manganeso es un metal de transición blanco grisáceo, parecido al hierro. Es un metal duro y muy frágil, refractario y fácilmente oxidable. El manganeso como metal puede ser ferromagnético, pero sólo después de sufrir un tratamiento especial.

El manganeso es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre, sin embargo, en el agua se encuentra con menos frecuencia y en cantidades mucho menores que el hierro.

El Manganeso, es uno de los más importantes metales en la tierra debido a su alta difusión en la naturaleza. Es el quinto elemento más abundante en la



superficie de la tierra y el segundo elemento de transición más abundante después del hierro existiendo en siete estados redox diferentes; en la naturaleza es muy común encontrarlo en estado de oxidación II, III o IV. El manganeso es un elemento esencial para la vida; funciona como un activador enzimático. Sin embargo, grandes dosis de manganeso en el organismo pueden causar daños en el sistema nervioso central.

Su presencia no es común en el agua, pero cuando se presenta, por lo general está asociado al hierro.

La oxidación del  $Mn^{+2}$  es, sin embargo, sensitiva al pH y si es alto, la oxidación inorgánica procede más rápido. La habilidad de los óxidos de Mn para adsorber cationes es elevada, es decir, que si la oxidación del  $Mn^{+2}$  ocurre, existe la posibilidad de que otros metales como el Co, Cu, etc., sean removidos por adsorción a las superficies (Asís, 1992).

El Manganeso en el agua puede estar disuelto, como coloide o asociado a materias orgánicas que lo estabilizan fuertemente, dificultando su eliminación. Comúnmente se encuentra en el agua bajo su estado reducido Mn (II), y su exposición al aire y al oxígeno disuelto lo transforma en óxidos hidratados menos solubles.

En concentraciones mayores a 0,15 mg/L, las sales disueltas de manganeso pueden impartir un sabor desagradable al agua.

La presencia de manganeso en el agua provoca el desarrollo de ciertas bacterias que forman depósitos insolubles de estas sales, esto debido a que se convierte por oxidación del estado manganeso en solución al estado mangánico en el precipitado.

Por lo general, en el agua es más difícil de controlar el manganeso que el hierro. Su remoción se realiza formando sales insolubles, para lo cual, en muchos casos, es necesario el uso de oxidantes y un pH alto.

Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS establecen como valor provisional 0,5 mg/L, pero las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá recomiendan una concentración diez veces menor, 0,05 mg/L, por consideraciones principalmente relacionadas con el sabor y el olor del agua, (Plantas de Filtración Rápida, Lidia de Vargas-Lima 2004).

En las aguas subterráneas se encuentra como  $Mn^{+2}$  disuelto bajo condiciones anaerobias (Avendaño, 2004). En agua potable pequeñas cantidades de manganeso (<0.2 mg/l) propician la vida de bacterias mangánicas en la red de distribución. En aguas bien oxigenadas no presenta alta concentración pues los compuestos allí existentes ( $Mn^{+4}$ ,  $Mn^{+6}$ ) son relativamente poco solubles, las sales de  $Mn^{+2}$  sí tienen mayor solubilidad comparadas con el  $Mn^{+4}$  y  $Mn^{+6}$ , pero en medios aireados se oxidan precipitando hidróxidos (AWWA, 2002).

#### Origen del Manganeso

El manganeso se encuentra normalmente en el aire, el suelo, el agua y los alimentos. Se pueden encontrar cantidades más altas de manganeso en el aire, el suelo y el agua como consecuencia de la liberación de manganeso durante la manufactura, uso o disposición de productos a base de manganeso.

Tal como sucede con otros elementos, el manganeso no puede ser degradado en el ambiente. Solamente puede cambiar de forma o adherirse o desligarse de partículas. La forma química del manganeso y el tipo de suelo determinan la velocidad con que se mueve a través del suelo y la cantidad que permanece en

el suelo. En el agua, la mayor parte del manganeso tiende a adherirse a partículas o a depositarse como sedimento.

Así, por ejemplo, el agente que contiene manganeso que se agrega a la gasolina puede degradarse rápidamente en el ambiente cuando se expone a la luz natural, liberando así manganeso.

El manganeso se encuentra frecuentemente en el agua como ion manganoso ( $Mn^{+2}$ ). Las sales del manganeso son generalmente más solubles en soluciones ácidas que en soluciones alcalinas. El ion manganoso es usualmente introducido en el agua a través de la solubilidad del bicarbonato manganoso.

En algunas aguas superficiales y pozos poco profundos, se puede encontrar compuestos orgánicos y coloides de manganeso. También pueden existir bacterias de manganeso similares a las ferro bacterias. Es frecuente encontrar manganeso en las aguas de pozos abiertos en aquellos terrenos que contiene rocas tipo areniscas, así mismo es posible encontrar manganeso en los pozos poco profundos de tierras aluviales.

Algunas aguas subterráneas pueden contener concentraciones de manganeso que alcanzan hasta 1.0 mg/L, mientras que en las aguas superficiales las concentraciones de manganeso son menores a 0.1mg/L. Es importante recalcar que a medida que aumenta la profundidad de los pozos, el agua adquiere mayor capacidad para disolver aquellas sustancias con las que se pone en contacto.

Concentraciones de manganeso del orden de 1.8 a 2.0 mg/L han sido reportadas en aguas de mina. Desde que la química del manganeso es similar a la del hierro es de esperar que las operaciones industriales que son fuente de hierro sean también fuente de manganeso.

La exposición al manganeso en el agua ocurre debido a que el manganeso forma parte natural del ambiente, siempre estamos expuestos a niveles bajos en el agua, el aire, el suelo y los alimentos. Es común que el agua subterránea, el agua potable y el suelo contengan niveles bajos de manganeso. Beber agua que contiene manganeso o nadar o bañarse en agua que contiene manganeso puede exponernos a niveles bajos de esta sustancia.

Minerales que contienen manganeso.

Los depósitos de manganeso pueden proceder de:

- Calizas y dolomitas pobres en alúmina pero que contienen diseminados de carbonatos y óxidos de manganeso.
- Calizas que contienen manganeso introducido o diseminado en las mismas.
- Rocas de silicato de magnesio tales como esquistos cristalinos o rocas ígneas alteradas.
- Yacimientos de filón de minerales de manganeso o minas con elevado contenido de manganeso.

(Sonia Guamán; Daysi Méndez; Determinación de Hierro y Manganeso, Cuenca – Ecuador, 2017).

Corrientes o teorías

Pearce y Turner (1995) señalan que en los años setenta empieza a percibirse los problemas de los recursos naturales y el medio ambiente a partir de cuatro posiciones:

*La primera corriente* está dominada por la eficiencia económica y su principal instrumento es el análisis costo-beneficio. Esta concepción se fundamenta en el utilitarismo y en los derechos de propiedad; permite al mercado regular la explotación de los recursos.

*Una segunda corriente* llamada preservacionista, centrada en la preservación integral de la biosfera: ningún aspecto constitutivo de la biosfera debe ser tocado por las actividades del hombre; salvo en caso de urgencia, el hombre no posee ningún derecho sobre los recursos naturales.

*Una tercera corriente* llamada conservacionista, que ve en los recursos y en los problemas del ambiente una restricción tal para el crecimiento económico; sugiere que éste deberá detenerse de buen grado o por la fuerza. Estos son los partidarios del crecimiento cero o del estado estacionario.

*La cuarta corriente* ve en los recursos, y en los problemas del medio ambiente, una severa restricción al crecimiento económico. Aquí se encuentran los más fervientes partidarios del desarrollo sustentable.

Propugnan no sacrificar el desarrollo actual sino cambiar sus características para permitir un desarrollo durable o sostenible.

Puede observarse que entre las cuatro corrientes respecto del ambiente y de los recursos naturales, las dos primeras son la consecuencia de concepciones reduccionistas y unilaterales, en tanto que las dos últimas se derivan en grado diverso de posiciones de compromiso entre economía, por una parte, y de ambiente y recursos naturales, por otra.

## **1.2 Marco Teórico**

La presencia del Manganeseo en el agua es discutible, principalmente debido a que la precipitación de estos metales altera la apariencia del agua cambiándola a un color café o negro. La deposición de estos precipitados mancha los artefactos sanitarios y la ropa que se lave con esta agua.

Otra condición que se asocia con la presencia de Manganeseo (Mn) en los abastos de agua es el crecimiento de microorganismos en los sistemas de distribución. La acumulación de estos puede producir reducción en la capacidad de

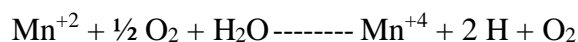
conducción de las tuberías y el atascamiento de medidores y válvulas. El desprendimiento de estas acumulaciones produce reacciones adversas a los usuarios, incluyendo protestas por malos olores y sabores. Los precipitados de Mn en las tuberías frecuentemente son re-suspendidos al aumentar los flujos lo cual incrementa el color y la turbiedad del agua.

El Manganeseo (Mn) y el Hierro (Fe) pueden presentarse en el agua en una de las tres formas básicas:

1. Disuelto: manganoso ( $Mn^{+2}$ ) y ferroso ( $Fe^{+2}$ )
2. En partículas: mangánico ( $Mn^{+4}$ ) y estado férrico ( $Fe^{+3}$ ) y
3. Coloidal: partículas muy pequeñas (difíciles de asentar y filtrar).

El predominio de una forma sobre otra depende del pH, Eh (potencial redox) y la temperatura del agua. El conocimiento de las formas o estados del manganeseo y hierro pueden afinar la práctica del tratamiento dado para estos metales, (Tecnología en Breve - Retiro del Hierro y Manganeseo).

En presencia de oxígeno disuelto, el manganeseo con oxidación más dos, es termodinámicamente inestable a todos los valores de pH de las aguas naturales, esquematizándose esto con la siguiente reacción química (Petruševski, 2003):



Química del manganeseo

Símbolo: Mn. Clasificación: Metal de transición - Grupo 7.

Número Atómico: 25. Masa Atómica: 54,93.

Número de protones/electrones: 25. Electrones en los niveles de energía: 2, 8, 13 y 2. Números de oxidación:  $2^+$ ,  $3^+$ ,  $4^+$ ,  $6^+$  y  $7^+$ .

Los cloruros, nitratos y sulfatos son altamente solubles en agua, pero sus óxidos, carbonatos e hidróxidos son parcialmente solubles. Por esta razón, los iones

mangánicos y manganosos están algunas veces presentes en aguas superficiales en concentraciones de hasta 1.0 mg/L. En aguas subterráneas sujetas a condiciones reductoras, el manganeso puede ser lavado del suelo y presentarse en concentraciones muy elevadas. Al manganeso se le encuentra asociado al hierro en aguas subterráneas

El ion manganeso se comporta en la mayoría de los casos muy parecido al ion hierro, además de poder ser bivalente y trivalente positivo puede también presentarse con valencia +4 formando el  $\text{MnO}_2$  que es insoluble. Rara vez el agua contiene más de 1 ppm ya que requiere un pH ácido. La forma manganeso ( $\text{Mn}^{+2}$ ), que es más general por aireación se oxida y precipita con un color oscuro de  $\text{MnO}_2$  y se determina por oxidación a permanganato y colorimetría de la solución oxidada y espectrometría de absorción atómica.

Los estados de oxidación del manganeso más comunes son 2+, 3+ cuando se encuentra como metal y 4+, 6+ y +7 cuando se encuentra como no metal, aunque se han encontrado compuestos con todos los números de oxidación desde 1+ a 7+; los compuestos en los que el manganeso presenta estado de oxidación 7+ son agentes oxidantes muy enérgicos. El manganeso es más abundante en estado de oxidación  $\text{Mn}^{+4}$ , en forma de  $\text{MnO}_2$ , también llamado pirolusita, que está ampliamente distribuida en los suelos de forma de minerales de baja riqueza.

Dentro de los sistemas biológicos, el catión  $\text{Mn}^{+2}$  compite frecuentemente con el  $\text{Mg}^{+2}$ . El Mn se emplea sobre todo aleado con hierro en aceros y en otras aleaciones. El manganeso es bastante electropositivo y se disuelve fácilmente en ácidos diluidos (Cotton, F., & Wilkinson, G., 1986).

Los embalses de aguas superficiales almacenadas en rocas areniscas pueden acumular manganeso junto con el hierro, ya que la descomposición de la materia

orgánica que se encuentra en el fondo de estos pozos elimina el oxígeno disuelto del agua generando así *anhídrido carbónico*; de esta manera el manganeso, el hierro de las rocas y de la tierra, en contacto constante con el agua se incorporan a su solución, transformándose en compuestos solubles.

El manganeso se puede determinar por varios métodos diferentes, entre los cuales existen los siguientes:

- Método espectrométrico de absorción atómica.
- Método de plasma de acoplamiento inductivo.
- Método colorimétrico: per-yodato potásico o persulfato amónico.

### **1.3 Investigaciones y Marco Legal**

Métodos de remoción de hierro y manganeso:

Existen varios métodos para la reducción/remoción del  $Mn^{+2}$ , aplicados de acuerdo al estado de oxidación en el cual se encuentren; *si se encuentran en estado  $Mn^{+2}$* , los métodos recomendados (Christian Valencia-Química del Hierro y Manganeso, pág.27) son:

- Oxidación, coagulación y/o filtración de los precipitados:

El proceso de oxidación consiste normalmente de un sistema de dosificación de productos químicos y filtros. Algunas veces se requiere un tanque de retención y un sistema de ajuste de pH con hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de calcio o cal hidratada  $Ca(OH)_2$  o carbonato de sodio ( $Na_2CO_3$ ).

Como agentes oxidantes pueden usarse gas cloro o hipoclorito. Este proceso opera a pH mayor o igual a 8.4, pero se tienen deficiencias en el proceso de filtración por la formación de precipitados coloidales que pasan a través del filtro.

- Intercambio iónico.



Este proceso por lo general se aplica para la reducción de la dureza del agua, utilizando resinas sintéticas operando como un ciclo de sodio ( $\text{Na}^+$ ). La resina intercambia el sodio por iones  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Mn}^{+2}$  presentes en el agua; como resultado de este proceso se incrementa la concentración de sodio en el agua tratada. Una desventaja de este proceso son los precipitados cálcicos formados en presencia de oxígeno que bloquean los sitios de intercambio iónico, causando la saturación de la resina. Este proceso no se recomienda para la remoción de Fe y Mn ya que existe una mayor selectividad para el calcio y otros iones de mayor valencia.

- Aireación presurizada y filtración.

El proceso de aireación - filtración se recomienda para agua con alta concentración de hierro (mayor de 5 mg/L) y manganeso (mayor a 1 mg/L) con el fin de disminuir los costos en reactivos. El equipo usado en este proceso comúnmente incluye:

- Aireador.
- Tanque de retención.
- Filtros.

El oxígeno de la atmósfera reacciona con las formas solubles de hierro y manganeso ( $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Mn}^{+2}$ ) del agua cruda para producir óxidos relativamente insolubles ( $\text{Fe}^{+3}$  y  $\text{Mn}^{+4}$ ) de estos elementos. La velocidad de reacción depende del pH de la solución, siendo más rápida a valores de pH altos.

Ya que el manganeso tiene una velocidad de oxidación muy lenta con el  $\text{O}_2$ , esta técnica no es muy efectiva para la remoción de  $\text{Mn}^{+2}$ , excepto a valores de pH cercanos a 9.0.

Para disminuir las concentraciones de manganeso al nivel deseado se requieren frecuentemente un tiempo de reacción y tratamiento químico adicionales.

Dependiendo de las características del agua cruda puede ser necesario un tiempo de reacción hasta de algunas horas después de la aireación. Si las concentraciones de hierro y manganeso total son altas, algunas veces se usan tanques de sedimentación con dispositivos de colección y remoción de lodos en vez de tanques de retención simples. Las principales desventajas del proceso de aireación-filtración son:

- Costo inicial alto.
- Requerimiento de un tiempo de retención.
- Tratamientos químicos adicionales si la concentración de Mn soluble es mayor a 1 mg/L.
- Tecnologías alternativas.

#### El ablandamiento

Se aplica para eliminar la dureza del agua, donde la remoción del hierro y manganeso es un efecto secundario. Dicho proceso consiste en elevar el pH del agua para precipitar el calcio y magnesio, originando que se oxide el Fe y Mn y coprecipiten con los carbonatos (a valores de pH mayores de 11).

Este método no es muy eficiente, ya que se forman precipitados de manganeso de tamaño coloidal que pasan a través de los filtros cuando no se agregan coagulantes.

#### Estabilización por secuestro

Los agentes secuestrantes son productos químicos utilizados para evitar que precipiten los metales. Normalmente, tanto el silicato de sodio como los polifosfatos se utilizan para secuestrar hierro y los polifosfatos para secuestrar

manganeso. Muchos polifosfatos modernos tienen una larga cadena lineal de fosfatos; el arreglo de las moléculas a lo largo de la cadena protege de ataques al material secuestrado y los sujetan durante cierto periodo de tiempo o hasta que algún otro factor rompa los enlaces. Los agentes secuestrantes no remueven al Fe y Mn, solo evitan que precipiten y se recomienda su aplicación sólo para sistemas pequeños y concentraciones menores 0.5 mg/L.

#### Métodos biológicos

El hierro y manganeso también pueden ser removidos biológicamente. Los tratamientos biológicos siempre requieren de calidades y condiciones específicas del agua cruda, y no todas las aguas subterráneas o superficiales son factibles económicamente de ser tratadas. Los tratamientos biológicos pueden emplearse cuando los costos de inversión y operación son menores que los de un proceso físico – químico.

#### Remoción in - situ

La remoción in-situ consiste en la remoción de hierro y manganeso directamente en el manto acuífero para obtener un agua de buena calidad. Este proceso es relativamente nuevo y solo existen algunas instalaciones en operación en Europa y en los Estados Unidos. Consiste en disolver oxígeno atmosférico en el agua que se utiliza para la recarga del acuífero, para posteriormente ser inyectada. El agua de recarga rica en oxidante (oxígeno) causa que el Fe y Mn formen una superficie de óxidos hidratados alrededor del acuífero, creando una zona de tratamiento. Cuando se termina la recarga, el agua subterránea rica en Fe y Mn pasa a través de esta zona por efecto de la extracción por bombeo. Las superficies de óxidos hidratados adsorben los iones de Fe y Mn, reduciendo las concentraciones de Fe y Mn disueltos.

Cuando la zona de tratamiento se agota (se pierde la capacidad de adsorción de Fe y Mn), se reactiva nuevamente, inyectando agua oxigenada de recarga. Los ciclos de recarga y extracción se repiten cuantas veces sea necesario. La duración de los ciclos está en función del agua extraída antes de que los niveles de Fe y Mn rebasen las concentraciones deseadas.

*Cuando los compuestos de Manganeso se encuentran en estado Mangánico  $Mn^{+4}$ , las técnicas de tratamiento (Christian Valencia-Química del Hierro y Manganeso, pág.32) son:*

- Filtración con arena sílice y cartuchos.
- Con arena verde-manganeso
- Calcita, para elevar el pH a 7.5

La mayoría de los sistemas de tratamiento de manganeso y de hierro que siempre van asociados, emplean el proceso de oxidación/filtración. El oxidante químico oxida el hierro o manganeso (formando una partícula), y mata la bacteria del hierro y alguna otra bacteria causante de alguna enfermedad que pueda estar presente. Luego el filtro retira las partículas de manganeso o hierro.

Antes de que el manganeso (hierro) puedan ser filtrados, necesitan ser oxidados al estado en el cual puedan formar complejos insolubles.

La oxidación comprende la transferencia de electrones del manganeso (hierro) y otros químicos tratados por el agente oxidante. El Manganeso soluble reducido ( $Mn^{+2}$ ) es oxidado a ( $Mn^{+4}$ ), el cual forma ( $MnO_2$ ) insoluble. El hierro ferroso ( $Fe^{+2}$ ) es oxidado a óxido férrico ( $Fe^{+3}$ ), el cual forma fácilmente el complejo insoluble hidróxido de hierro  $Fe(OH)_3$ .

La oxidación seguida de la filtración es un proceso relativamente simple. La fuente de agua debe ser monitoreada para determinar la dosificación apropiada

de oxidante; el agua tratada también debe ser monitoreada para determinar si el proceso de oxidación fue exitoso; (Tecnología en Breve - Retiro del Hierro y Manganese).

Aplicación del Hipoclorito de Sodio ( $\text{NaClO}$ ) en la reducción de los niveles del  $\text{Mn}^{+2}$ :

El hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio se usan como oxidante para la remoción de manganeso y también del hierro. El hipoclorito de sodio es usualmente el oxidante más conocido por su relativo bajo costo y por la facilidad de manipulación. Como oxidante, este químico trabaja con el mismo principio que el ion hipoclorito,  $\text{ClO}^-$ , formado en la desinfección. Inhibe el crecimiento de bacterias del hierro e inicia la oxidación del hierro y el manganeso.

Mejoramiento de la calidad del agua del rio Yauli.

Actualmente el agua ácida tratada en la planta de neutralización cumple con adecuarse al D.S. 010-2010-LMP-MINAM, respecto a los metales pesados como el Fe, Cu, Pb, Zn, As, Hg, Cd, Cr y valores de pH, TSS, conductividad. Pero, aún no se contempla al nuevo elemento Mn, que recién será controlado a partir del año 2021; ECA 2017.

Cabe indicar que el actual DS 004-2017 MINAM, ha derogado los Decretos Supremos anteriores: 002-2008, 023-2009 y 015-2015-ECA. En esta última es donde se considera el elemento manganeso.

El agua tratada en la planta de neutralización de la Cía. Minera Volcán, que es vertida al rio Yauli, contiene  $\text{Mn}^{+2}$  en concentraciones comprendidas en un rango entre 100 a 250 mg/L (ppm) y el nuevo valor que se contemplará como LMP será de 0.2 mg/L (ppm).

Por lo tanto, mediante el método de oxidación que se aplicará en la planta de neutralización previas pruebas a nivel laboratorio e industrial; se logrará reducir la concentración inicial del  $Mn^{+2}$  a niveles por debajo de lo que exige la normativa legal.

Finalmente, el agua vertida al río Yauli, deberá estar libre o con trazas de  $Mn^{+2}$ , que no perjudicaran la calidad del agua, ya que esta agua, reportará una Calidad III (Bebida para Animales y Riego de Vegetales).

### **Marco Legal:**

Constitución Política del Perú de 1993:

Es la norma legal de mayor trascendencia jurídica del país, la que resalta como uno de los derechos fundamentales de la persona humana, el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida. Del mismo modo, en su Título III del Régimen Económico, Capítulo II del Ambiente y de los Recursos Naturales (Artículos 66° al 69°) prescribe que “Los recursos naturales renovables y no renovables son considerados como patrimonio de la Nación, el Estado promueve su uso sostenible, la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas”.

Ley orgánica para el aprovechamiento sostenible de los Recursos Naturales – Ley N° 26821:

La presente Ley Orgánica norma el régimen de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, en tanto constituyen patrimonio de la Nación, estableciendo sus condiciones y las modalidades de otorgamiento a particulares. Se consideran recursos naturales a todo componente de la naturaleza, susceptible de ser aprovechado por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades y que tenga un valor actual o potencial en el mercado, tales como: (a) las aguas:

superficiales y subterráneas; (b) el suelo, subsuelo y las tierras por su capacidad de uso mayor: agrícolas, pecuarias, forestales y de protección; (c) la diversidad biológica: como las especies de flora, de la fauna y de los microorganismos o protistas; los recursos genéticos, y los ecosistemas que dan soporte a la vida; (d) los recursos hidrocarburíferos, hidroenergéticos, eólicos, solares, geotérmicos y similares; (e) la atmósfera y el espectro radioeléctrico; (f) los minerales y demás considerados como tales.

Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338):

La ley de recursos hídricos tiene como finalidad regular el uso y gestión de los recursos hídricos, fue publicada el 31 de marzo del 2009 derogando el D.L. N° 17752 - Ley General de Aguas. Esta ley, en el título preliminar, artículo III se menciona los siguientes principios:

El agua tiene valor sociocultural, valor económico y valor ambiental, por lo que su uso debe basarse en la gestión integrada y en el equilibrio entre estos.

Además, señala que el acceso al agua para la satisfacción de las necesidades primarias de la persona humana es prioritario por ser un derecho fundamental sobre cualquier uso, inclusive en épocas de escasez.

El Estado consagra un régimen de derechos para el uso del agua. Promueve y vela por el respeto de las condiciones que otorgan seguridad jurídica a la inversión relacionada con su uso, sea pública o privada o en coparticipación.

Reglamento de la calidad del agua para consumo Humano D.S. 031-2010 S.A.

El reglamento de la calidad del agua para consumo humano elaborado por la dirección general de salud ambiental, publicado el 26 de setiembre del 2010, a través del D.S. N° 031-2010, reemplazando de esta manera el reglamento de los requisitos Oficiales físicos, químicos y bacteriológicos de 1946. Este nuevo

Reglamento, a través de sus 10 títulos, 81 artículos, 12 disposiciones complementarias, transitorias y finales y 5 anexos; no solo establece límites máximos permisibles, en lo que a parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos, químicos orgánicos e inorgánicos y parámetros radiactivos, se refiere; sino también le asigna nuevas y mayores responsabilidades a los Gobiernos Regionales, respecto a la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo humano; además de fortalecer a la DIGESA, en el posicionamiento como Autoridad Sanitaria frente a estos temas.

#### Normativa internacional

La organización mundial de la Salud (OMS), ha elaborado Guías para la Calidad del agua Potable, en donde explica los requisitos necesarios para garantizar la inocuidad del agua, incluidos los procedimientos mínimos y valores de referencia específicos, y el modo en que deben aplicarse tales requisitos. Describe asimismo los métodos utilizados para calcular los valores de referencia, e incluye hojas de información sobre peligros microbianos y químicos significativos. La elaboración de la presente tercera edición de las Guías para la calidad del agua potable incluye una revisión en profundidad de los métodos utilizados para garantizar la inocuidad microbiana. La OMS, actualiza constantemente sus guías siendo la más actual la del 2006, documento sustituye a las ediciones anteriores de las Guías (1983–1984, 1993–1997 y apéndices de 1998, 1999 y 2002) y a las normas internacionales anteriores (1958, 1963 y 1971).

A continuación, se realiza una cronología de los requerimientos legales:

- 31/07/2008 (DS 002-2008-MINAM), Nuevos ECA (Estándar de Calidad Ambiental).
- 18/12/2009 (DS 023-2009-MINAM), Disposiciones para implementación de ECA, empiezan a darse plazos, e instrucciones para plantear excepciones.



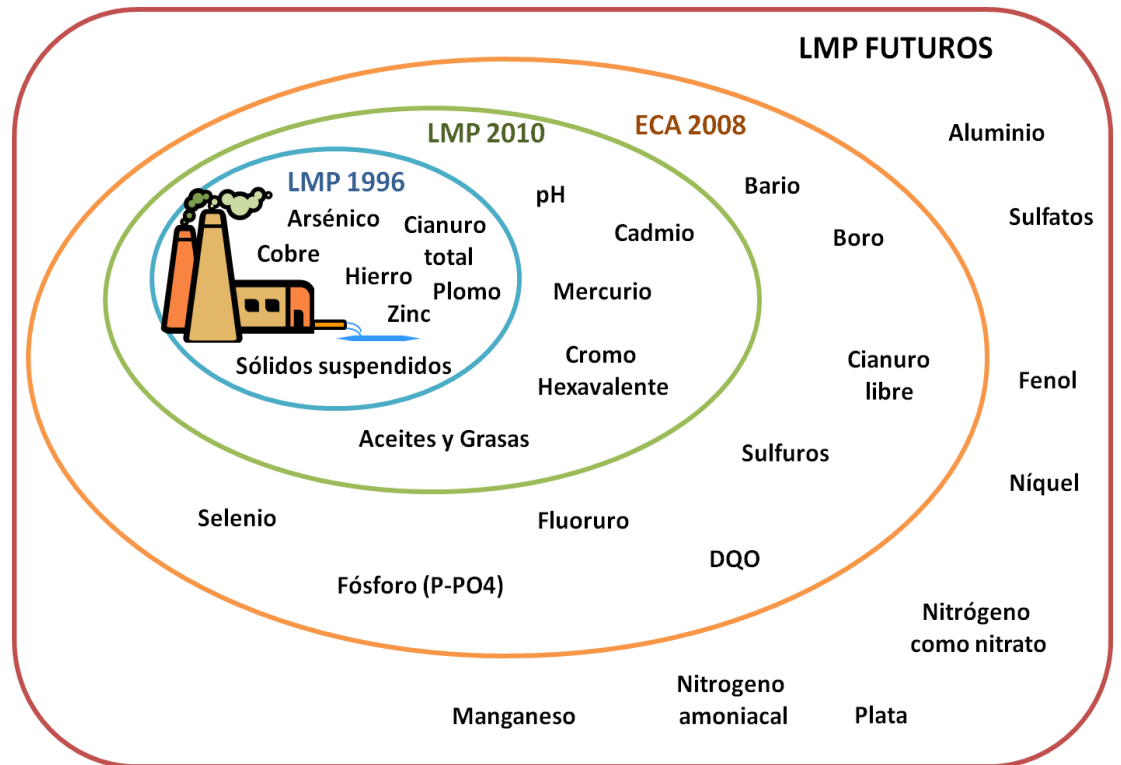
- 22/03/2010 (RJ 202-2010-ANA), La ANA (Autoridad Nacional del Agua), publica la clasificación de los cuerpos de agua superficiales y marino costeros.
- 21/08/2010 (DS 010-2010-MINAM), Nuevos LMP, se establecen plazos de adecuación y de presentación de planes.
- 22/01/2011 (RM 030-2011-EM), TdR (Términos de Referencia) para adecuación a LMP, pero no menciona bajo qué procedimiento administrativo se realizará, ni menciona nada sobre el ECA.
- 15/06/2011 (DS 010-2011-MINAM), Se modifican e integran plazos para presentación de planes y para implementación efectiva, asimismo, se menciona que habrán TdR.
- 22/04/2012 (RM 154-2012-EM), Se añaden a los TdR anteriores (LMP), nuevos TdR para ECA y se le da la forma de EIA (Estudio de Impacto Ambiental) y, es finalmente con el que se está trabajando.

El Decreto Supremo 010-2010-MINAM para el caso de los Efluentes Mineros se puede ver en el Anexo N° 1 (1.1)

Los Estándares de Calidad Ambiental para el agua (ECA) se puede ver en el Anexo N° 1 (1.2).

A continuación, se presenta una gráfica representativa de la cronología de los requerimientos legales. Ver gráfica N° 1.

Gráfica N° 1



Fuente: Consultores Ambientales S.A.

También se muestra a continuación, un cuadro comparativo de los LMP contemplados en el Perú, con otros países referente al Mn, se debe indicar que Chile ya lo contempla legalmente de hace un tiempo atrás. Ver Tabla N° 1.

Tabla N° 1.

Parámetro (mg/l)	Perú		Chile		USA	Canadá	Banco Mundial
	LMP 1996 <sup>(1)</sup>	LMP 2010 <sup>(2)</sup>	Emision de RILES <sup>(3)</sup>		Residuos Líquidos de Minería <sup>(4)</sup>	Residuos Líquidos de Minería <sup>(5)</sup>	Residuos Líquidos de Minería <sup>(6)</sup>
			Cuerpos de Agua Fluviales	Cuerpos de Agua Lacustres			
Aluminio			5	1	2		
Aceites y grasas	20		20	20			10
Antimonio							
Arsénico	0.1	1	0.5	0.1	1	0.5	0.1
Bario							
Boro			0.75				
Cadmio	0.05		0.01	0.02	0.1		0.1
Cianuro libre							0.1
Cianuro total	1	1	0.2	0.5		1	1
Cobre total	0.5	1	1	0.1	0.3	0.3	0.5
Cromo Hexavalente	0.1		0.05	0.2			0.1
Cromo Total				2.5			0.5
DQO							250
Fenol			0.5				0.5
Fósforo			10	2			2
Fluoruro			1.5	1			20
Hierro disuelto	2	2	5	2	2		3.5
Manganeso			0.3	0.5			
Mercurio	0.002		0.001	0.005	0.002		0.01
Molibdeno			1	0.07			
Níquel			0.2		0.2	0.5	0.5
Nitrógeno total Kjeldahl			50	10*			
Plata							0.5
Plomo	0.2	0.4	0.05	0.2	0.6	0.2	0.1
Selenio			0.01	0.01			0.1
SST	50	50	80	80	30	15	50
pH	6-9		6-8.5	6-8.5	6-9	6-9.5	6-9
Sulfatos			1000	1000			
Sulfuros			1	1			
Zinc	1.5	3	5		1	0.5	2

\* Corresponde a la suma de nitrógeno total Kjeldahl, nitrito y nitrato

1) Límites Máximos Permisibles 2010 para Efluentes Minero-metalúrgicos (cualquier momento)

2) Límites Máximos Permisibles 1996 para Efluentes Minero-metalúrgicos (cualquier momento, **metales disueltos**)

3) Límites Máximos Permitidos para descarga de Residuos Líquidos a cuerpos Fluviales

4) Residuo Líquido en Minería Metálica (cualquier momento)

5) Residuos Líquidos en Minería Metálica

6) Residuos Líquidos en Minería Metálica

## 1.4 Marco Conceptual

A continuación, se define algunos conceptos referidos al tema de investigación:

Oxidación: combinación con el oxígeno y, más generalmente, reacción en la que un átomo o un ion pierde electrones.

Zeolita natural: silicato natural complejo de ciertas rocas volcánicas, la zeolita tiene en el sodio el principal elemento intercambiable, pero puede contener en menor proporción otros cationes como el potasio o calcio.

Adsorción: atracción o adhesión de moléculas de un gas, líquido o sustancia disuelta sobre una superficie.

Límite Máximo Permisible (LMP): es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

Mitigación: es la reducción de la vulnerabilidad, es decir la atenuación de los daños potenciales sobre la vida y los bienes causados por un evento.

Absorción: es un proceso físico o químico por el cual átomos, iones o moléculas pasan de una primera fase a otra incorporándose al volumen de la segunda fase.

Acuífero: es aquel estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas.

Adsorción: es un proceso físico o químico por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de la materia.

Alícuota: es una parte que se toma de un volumen (alícuota líquida) o de una masa (alícuota sólida) iniciales, para ser usada en una prueba de laboratorio, cuyas propiedades físicas y químicas, así como su composición, representan las de la sustancia original.

Anfótero: es aquella sustancia que puede reaccionar ya sea como un ácido o como una base.

**Agentes Secuestrantes:** los compuestos capaces de ligar iones metálicos de tal manera que no exhiban sus reacciones normales en presencia de agentes precipitantes.

**Agente Enmascarante:** es un reactivo químico usado en una prueba o análisis que tiene la propiedad de unirse con ciertas especies que de otro modo interferirían o adulterarían la muestra que se va a analizar.

**Coloidal:** es un sistema formado por dos o más fases, principalmente: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas.

**Catión:** es un ion (o sea átomo o molécula) con carga eléctrica positiva, es decir, que ha perdido electrones. En las sales típicamente están formadas por cationes y aniones.

**Dilución química:** es la reducción de la concentración de una sustancia química en una disolución.

**Difusión:** es un proceso físico irreversible, en el que partículas materiales se introducen en un medio que inicialmente estaba ausente, aumentando la entropía (desorden molecular) del sistema, conjunto formado por las partículas.

**Disolución:** describe un sistema en el cual una o más sustancias están mezcladas o disueltas en forma homogénea en otra sustancia.

**Hidrólisis:** es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química.

**Mezcla:** es un sistema material formado por dos o más componentes mezclados, pero no combinados químicamente.

Partes por Millón (PPM): es la unidad de medida con que se evalúa la concentración.

pH: es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. Se denomina potencial de hidrogeno.

Pirolusita: es un mineral del grupo de los óxidos siendo un óxido de manganeso, usualmente se encuentra en forma de agregados masivos terrosos.

Polifosfatos: son las sales del ácido fosfórico que se obtiene a partir del calentamiento alcalino de la roca fosfórica.

Precipitación: es un proceso de obtención de un sólido a partir de una disolución.

Solubilización: es cuando un compuesto denominado soluto (ya sea sólido, liquido o gaseoso) se disuelve en otro (solvente), es decir, entre los dos pasan a formar una sola fase homogénea.

Solución Alcalina: es aquella, cuando al medir su pH, éste es superior a 7, ya que el 7 es la neutralidad y pH inferiores a él representa soluciones ácidas.

Soluciones amortiguadoras: son aquellas soluciones cuya concentración de hidrogeniones varía muy poco al añadirles ácidos o bases fuertes.

## **1.5 Marco Filosófico**

En los últimos años el uso y abuso de los recursos naturales por el hombre, ha tomado alto interés y preocupación. Los problemas no derivan solamente de la demanda creciente de recursos naturales que se induce, sino del límite de los propios recursos, de la posibilidad de su agotamiento total; y también, en gran medida, de la alteración del equilibrio ecológico que estas acciones producen directamente.

Los recursos naturales, principalmente suelo y agua, forman la base de la existencia del ser humano: sin ellos no hay vida. En todo el Perú crece la presión

sobre los recursos naturales para alimentar a una población creciente y para desarrollarse económicamente, de modo que disminuya la disponibilidad de los mismos. Personas a todo nivel, desde los gobernantes hasta los agricultores, vienen a darse cuenta de que el suelo pierde su capacidad productiva, y que la cantidad y calidad del agua ya no es suficiente. Al mismo tiempo que existe la necesidad de utilizar los recursos naturales más intensivamente para cumplir con las crecientes demandas alimenticias, es de fundamental importancia utilizar los mismos de una manera más sostenible. Por lo tanto, actualmente, el Perú enfrenta el desafío de avanzar rápidamente hacia el desarrollo sostenible de su agricultura y de sus ciudades, antes de que los recursos naturales se agoten y catástrofes sociales y económicas sin precedentes se manifiesten.

El deterioro del medio natural como la desaparición de comunidades vegetales y animales, pérdida de suelos, disminución de las aguas superficiales y subterráneas, disminución de zonas fértiles, el destrozo visual de paisajes sobresalientes, son fenómenos conocidos en algunos países.

Cualquier estudio del medio, implica un acercamiento a los sistemas naturales, el cual debe realizarse teniendo en cuenta las propiedades funcionales y estructurales que caracterizan las respuestas de tales sistemas a las acciones externas, naturales o causadas por el hombre.

El acercamiento debe ser sistémico, y los modelos y técnicas de análisis de los datos deben conducirse con limitaciones sujetas al tipo de organización de los sistemas naturales, a las conexiones entre sus elementos, a su elasticidad o

respuesta a los cambios, a su comportamiento espacial, al patrón de sus discontinuidades físicas o diversidad, a su estabilidad y variabilidad dinámica.

La complejidad de estos estudios requiere de una mirada filosófica desde una perspectiva multidisciplinaria donde se reflexione partiendo de una visión ecológica, identificando los espacios de vulnerabilidad física y sensibilidad biológica.

**Adam Smith (1723–1790)** economista y filósofo británico, su aporte al turismo como al medio ambiente a través de su famoso tratado *Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*, más conocida por su nombre abreviado de *La riqueza de las naciones* (1776), constituyó el primer intento de analizar los factores determinantes de la formación de capital y el desarrollo histórico de la industria y el comercio entre los países europeos, lo que permitió crear la base de la moderna ciencia de la economía.

En su famoso tratado *La riqueza de las naciones*, Adam Smith sostenía que la competencia privada libre de regulaciones produce y distribuye mejor la riqueza que los mercados controlados por los gobiernos. Desde 1776, cuando Smith escribió su obra, su razonamiento ha sido utilizado para justificar el capitalismo y disuadir la intervención gubernamental en el comercio y cambio. En palabras de Smith, los empresarios privados que buscan su propio interés organizan la economía de modo más eficaz "como por una mano invisible".



**MARC AUGÉ: El desplazamiento y la creación de lugar;** En el año 1992 escribió *Non-lieux. Introduction a une antropología de la submodernité*, cuya edición en español se tradujo como *Los No Lugares, espacios de anonimato*.

Para el autor, la tesis central de auge es que los no lugares surgen como espacios de anonimato producto de los viajes modernos en donde no hay identidad ni conocimiento del otro. Si el lugar es hogar antropológico como espacio productor de identidad, entonces un “no lugar” reconvierte la territorialidad.

**Jorge Santayana (1964). La filosofía del viaje.** Este filósofo español escribe este ensayo aproximadamente por 1912 para –según sus instrucciones- ser publicado “después de su muerte”. El mismo comienza con una pregunta: “*¿ha reflexionado alguien jamás acerca de la filosofía del viaje? Pudiera valer la pena*”. Así, el autor comienza su ensayo haciendo referencia a la creencia aristotélica sobre los vegetales y su relación con el suelo. Por el contrario, el hombre al igual que los animales posee movilidad y traslación. A diferencia de los vegetales, los animales pueden migrar y desplazarse de un lado hacia otro en busca de alimentos. Pasar de vegetal a lo animal es completísimo revolución. Todo queda literalmente vuelto al revés, los vegetales no anhelan y no persiguen.

Según el filósofo español, el animal y el hombre persiguen lo “pintoresco” y en esa acción se encuentra el motivo último de cualquier viaje siendo su más trágica expresión la migración. En su escrito recorre toda una tipología de los diferentes viajeros y los motivos que marcan su travesía. Como inmigrante en una tierra extraña, Santayana se extiende sobre el problema de aquellos que deben viajar para adaptarse a nuevas costumbres.

El inmigrante que busca nuevas tierras siente repulsión por el lugar en que nació y la contempla como algo negativo; a su vez pone en contraste un ideal donde se despoja de todos sus males y a donde se moviliza. En el país extranjero, se enfrenta con un nuevo idioma, costumbres e ideas que toma como propias pero las cuales casi nunca podrá incorporar en su totalidad, “el exiliado para ser feliz debe nacer de nuevo”. Pero el caso del explorador parece diferente. El explorador busca nuevas tierras para apropiarse y conquistar. Si siente curiosidad y aún en su necesidad científica de descripción tiene deseos de apropiación. El vagabundo, por el contrario, camina al azar y sus descubrimientos serán producto del mismo. El vagabundo tiene la tendencia de engañarse a sí mismo, escapándose de todos lados para no encontrarse. Su predisposición a la no adaptación lo empuja a estar yéndose de todos lados. Por último, Santayana se refiere al turista como aquel sediento de hechos y bellezas de mente abierta y curiosidad “amable”.

**El aporte de Marx y Engels** al esclarecimiento de la problemática ambiental en su relación con el desarrollo puede examinarse desde dos aspectos básicos: uno, referente a una nueva concepción metodológica estrechamente vinculada a la ecología, en cuanto concibe a la naturaleza en continuo movimiento, interconexiones y transformación, y otro, de tipo más conceptual, que explícita la relación misma hombre-naturaleza como interacción dialéctica. En relación con el primer punto, Engels escribe:

La gran idea cardinal del mundo no puede concebirse como un conjunto de objetos terminados, sino como un conjunto de procesos, en el que a las cosas que parecen estables, al igual que sus reflejos mentales en nuestras cabezas, los conceptos, pasan por una serie ininterrumpida de cambios, por un proceso de

génesis y capacidad, a través de los cuales, pese a todo su aparente carácter fortuito y a todos los retrocesos momentáneos, se acaba imponiendo siempre una trayectoria progresiva.

Tres ideas básicas aparecen aquí que guardan relación con la concepción sistémica que caracteriza la relación medio ambiente-desarrollo: un enfoque holístico, una dimensión dinámica de cambio constante y una visión optimista de trayectoria progresiva.

En el párrafo anterior, el concepto de globalidad no se limita a un conjunto de procesos, sino que la idea de interrelación mutua condicionante está clara, y se explicita más aún en el siguiente pasaje del Anti-Dühring:

Si nos paramos a pensar sobre la naturaleza, o sobre la historia humana o sobre nuestra propia actividad espiritual, nos encontramos, de primera intención, con la imagen de una trama infinita de concatenaciones y mutuas influencias en la que nada permanece lo que era ni cómo y dónde era, sino que todo se mueve y se cambia, nace y caduca

**Para Engels**, la acción recíproca es la que permite identificar la concatenación causal de los fenómenos: «sólo a partir de esta acción recíproca universal llegamos a la verdadera relación causal». Esta causalidad no es entendida en términos puramente mecánicos: «el mecanicismo aplicado a la vida es una categoría impotente...». En cierto sentido, la idea de un movimiento constante, unidireccional, irreversible, está implícita en la concepción de un «proceso de génesis y caducidad». Frente a las nociones mecanicistas se opone una concepción dialéctica: «...en la naturaleza todo sucede de modo dialéctico... no se mueve en la eterna monotonía de un ciclo constantemente repetido, sino que recorre una verdadera historia».

El desarrollo es entendido por Marx y Engels como un proceso de cambio de formaciones sociales a través del desarrollo de las fuerzas productivas. Una formación social es concebida como el modo de producción vigente conjuntamente con una superestructura. La superestructura está constituida por aquellas relaciones sociales que no son relaciones de producción y por la conciencia social, mientras que el modo de producción es definido como el conjunto de las relaciones de producción asociadas a un determinado tipo de propiedad de los medios de producción.

Cuando **Engels**, en “El papel del trabajo en la transformación del mono en hombre” daba cuenta de las implicaciones de la posición erguida, de la liberación de las manos, y de la fabricación de instrumentos, llegó a la conclusión de que la principal revolución que aquello había ocasionado no era en la transformación de la naturaleza, sino en la auto - transformación de la sociedad humana. Con ello el marxismo se pone al frente de todas las corrientes de estudio de la cuestión ambiental que toman a la sociedad humana como un todo y la relacionan con el resto del mundo vivo y abiótico. El marxismo muestra que el relacionamiento del ser humano con su ambiente está mediado por las propias relaciones inter-específicas; y que, dentro de éstas, son las relaciones sociales de producción las que gobiernan al resto.

El punto de partida para el análisis de la crisis ambiental contemporánea está en la propia producción mercantil. Mientras la producción pre - capitalista de valores de uso tiene su límite en la satisfacción de las necesidades; la producción mercantil para incrementar la ganancia no tiene límite alguno. Esta diferencia, tan sencilla y general, está en la base del agotamiento de los recursos naturales a

un ritmo nunca sospechado en la historia de la humanidad; y también de la generación de desechos (polución) en una medida ilimitada.

Pero la producción capitalista es una modalidad de producción mercantil con leyes particulares. Una rápida mirada a estas leyes permite mostrar las sólidas interconexiones entre sociedad y medio ambiente.

- Primero, las leyes más generales que se derivan del movimiento del capital. Tanto la tendencia al incremento de la rotación del capital para aumentar la ganancia, como la tendencia al abaratamiento del capital constante, constituyen la explicación más contundente del avance del capital sobre espacios y materiales de la naturaleza no mercantilizados a ritmos crecientes.
- Segundo, el papel del suelo como barrera a la inversión de capital, y su explotación capitalista y propiedad, como medios de sustracción de una parte del plusvalor global generado bajo la forma de renta explican, por un lado, la tendencia a la privatización y mercantilización de la naturaleza. Por otro, la depredación de los recursos naturales para lograr ganancias extraordinarias (renta diferencial II).
- Tercero, el efecto de la producción capitalista sobre las clases trabajadoras. por un lado, mostrando que el sistema capitalista es el único que, impulsado por la expansión mercantil, no soporta otros modos de producción a su alrededor y, con ello, tiende a la destrucción de la diversidad cultural. Por otro, al convertir a la fuerza de trabajo en mercancía, la sujeta al crecimiento de la composición orgánica del capital y a los vaivenes de la oferta y la demanda, generando despilfarro de trabajo humano en la forma de desempleo, miseria, y enfermedades. Y, mediante la división clasista del trabajo, limita las posibilidades de la creatividad humana.

**El filósofo estadounidense Bryan Norton** Señala que las políticas medioambientales basadas en un amplio y extenso antropocentrismo -donde los valores humanos de la generación presente y los de las generaciones futuras estén igualmente considerados- debieran ser indistinguibles de las políticas basadas en esa controversial y problemática noción de "valor intrínseco" que algunos han pretendido atribuir a la naturaleza. Esto es lo que él denomina "hipótesis de la convergencia" y urge a los filósofos ambientalistas para que adhieran a un antropocentrismo conservador, aunque "débil" y basen las políticas ambientales en el espectro total del material humano, científico, estético, y en los valores espirituales, tanto de las generaciones actuales como de las próximas.

Planteamientos como los de Norton implican, de este modo, que todos nuestros deberes hacia el medioambiente natural, en realidad se derivan de los deberes que debemos reconocer hacia sus habitantes humanos. En este sentido, una perspectiva antropocéntrica refinada sería más que suficiente para objetivos prácticos, e incluso mucho más eficaz que cualquier teoría no antropocéntrica en cuanto al logro de resultados pragmáticos; sobre todo en términos de la formulación de políticas, dada la pesada carga de la prueba que recae sobre estas últimas cuando tienen que fundamentar su opinión de que el ambiente no humano también tiene valor intrínseco. Esta dificultad conduciría, incluso, a declarar una suerte de antropocentrismo cínico, en cuanto se admite que, efectivamente, sí existen poderosas razones para disponerse de manera favorable al medioambiente no humano, pero solo porque ellas estarían directamente relacionadas con las implicancias favorables que finalmente éste tiene para el bienestar del hombre. Desde una visión crítica se ha señalado que semejante antropocentrismo ha devenido la causa fundamental de la crisis ecológica actual, en tanto, habiendo

exaltado históricamente la figura del hombre, de algún modo legitimó con ello el aniquilamiento progresivo del entorno. En relación con esto, en algunas ocasiones se ha argumentado que las raíces históricas de la destrucción medio - ambiental se encontrarían en el pensamiento cristiano, pues éste sería el que habría animado la sobre explotación de la naturaleza al afirmar la superioridad de los seres humanos por sobre todas las otras formas de vida, y por haberse representado todo el entorno natural como si hubiera sido creado para el uso irrestricto del hombre.

**Para el filósofo noruego ARNE NAESS**, diferenciaba dos modalidades de ecología: la superficial (*shallow Ecology*) y la profunda (*deep Ecology*). Creía que la primera de ellas -la superficial, la antropocentrista digamos- acusaba el defecto de no ser sino otra ciencia más dentro de la familia de las ciencias de la Tierra, tal como lo son, por ejemplo, la oceanografía o la meteorología. De acuerdo con esto, un ecologista superficial usaría su ciencia igualmente para avanzar respecto de la empresa de conquista de la naturaleza, aunque solo en el sentido de evitar las consecuencias indeseables de tales acciones. De este modo, los ecologistas superficiales asesoran a los gobiernos y a las empresas en la manipulación del medio ambiente, con el propósito de generar un rendimiento máximo y sostenido de los recursos, y así su labor queda limitada no más que a advertir acerca de los riesgos de la lluvia acida para los bosques comercializables, por ejemplo; o a dar cuenta de las potenciales consecuencias biológicas derivadas de la introducción de organismos desarrollados por ingeniería genética en el medio ambiente. Por lo mismo, la ecología superficial no representaría sino una refinada modalidad de *management*.

## CAPÍTULO II:

### EL PROBLEMA, OBJETIVOS Y VARIABLES

#### 2.1 Planteamiento del Problema

##### 2.1.1 Descripción de la Realidad Problemática

Actualmente las aguas ácidas proveniente de actividades mineras, son tratadas por métodos pasivos o métodos activos como en este caso; por lo general estas aguas ácidas contienen metales pesados en forma disuelta tales como,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  entre los principales. Últimamente, el Ministerio del Ambiente (MINAM) ha considerado incluir en el listado de elementos principales al ion  $\text{Mn}^{+2}$ , donde su Límite Máximo Permisible (LMP) contempla un valor de 0.2 mg/L; debido a esta normativa es que las empresas cuyas actividades están inmersas en generación de aguas acidas con contenidos de Mn por encima del LMP, se ven obligadas a controlar/reducir el contenido de este elemento mediante un tratamiento, para luego disponer de ellas en sus actividades y también puedan ser vertidas a un cuerpo receptor.

El método activo en estudio utiliza el Hipoclorito de Sodio ( $\text{NaClO}$ ) para oxidar el  $\text{Mn}^{+2}$  a  $\text{Mn}^{+4}$ ; se remueve el  $\text{Mn}^{+2}$  en un rango que va desde el 98% al 99% de eficiencia.

Por lo tanto, el agua tratada vertida al cuerpo receptor en este caso el rio Yauli, además de estar libre de metales pesados como el Pb, Cu, Fe, Zn, As (ya tratados previamente), ahora estará libre de Mn, de acuerdo al



actual D.S. N° 010-2010-LMP-MINAM y al D.S. N° 004-2017-ECA- Estándar de Calidad Ambiental-MINAM, que entrará en vigencia, entre los años 2020 y 2021 respecto al manganeso.

Finalmente, la calidad del agua será de un nivel de CATEGORÍA III (Riego de Vegetales y Bebida para Animales).

El hipoclorito de sodio oxida el  $Mn^{+2}$  a  $Mn^{+4}$  ( $MnO_2$ ) y luego este se hidroliza formando un hidróxido –  $Mn(OH)_2$ , el cual precipita y es evacuado en forma de lodos para su disposición final.

El agua decantada, prácticamente está libre de  $Mn^{+2}$  o en su defecto dentro los LMP que exige la normativa, por lo tanto, el agua que será vertida al cuerpo receptor será de Calidad III.

Para el estudio y de los análisis del laboratorio químico se sabe que la concentración de  $Mn^{+2}$  en el agua ácida que sale del interior de la mina, está entre 100 y 250 mg/L (ppm).

Para aplicar el proceso de oxidación con hipoclorito de sodio, será necesario elevar el pH del agua en estudio hasta un valor cercano a 9; como se sabe, el pH del agua ácida que sale del interior de la mina se encuentra en un rango de 3.5 a 5.5. Cuando el pH se encuentra en el rango alcalino, la velocidad de oxidación y precipitación del ion manganeso será más rápida, o sea, la cinética de la reacción es más rápida.

Por lo tanto, a medida que se remueve o reduce la concentración de  $Mn^{+2}$  en el agua, esta será de una calidad adecuada, por debajo del LMP, para ser vertida a un cuerpo receptor, que en este caso es el río Yauli.

### **2.1.2 Antecedentes Teóricos**

Al inicio de las operaciones de las minas San Cristóbal y Carahuacra, estas tuvieron como principales problemas la estabilidad física (Geomecánica), ventilación y el agua; este último, complicado de controlar por las características geológicas y por la forma de la red hídrica en la que se encuentra el Domo de Yauli, esto hace que este sea un trabajo de años para evitar efectos de consideración.

En el año 1998, cuando las minas estaban bajo responsabilidad de Centromin Perú, se elaboraron informes sobre el problema existente, y es a partir del año 1998, donde el Dpto. de Seguridad y Ventilación elabora un esquema de aguas subterráneas, calculándose como datos los caudales, como principal objetivo, comprendiendo las zonas o minas de San Cristóbal y Carahuacra.

Uno de los objetivos principales era determinar el caudal para evitar las inundaciones y para controlar estos se instalaron cámaras de bombeo. Esto era uno de los efectos que se tenía al no conocer el comportamiento hídrico de la mina.

Actualmente el sector de Energía y Minas ha elaborado lineamientos para conocer el comportamiento del agua de mina (características físicas y químicas) teniéndose como guías el Protocolo de Agua y RM N°011-96-EM/VMM (Año 1996), dicha ley actualmente se ha actualizado, con el objetivo de controlar los impactos al medio ambiente que una empresa minera podría ocasionar, y si la ocasionara, tendrá la capacidad de minimizar dichos riesgos.

Conociendo lo explicado, el año 2000 la Compañía Minera Volcán, contrato a una consultora “Pasmína”, con el objetivo de contar con un

informe donde se explique el comportamiento físico y químico, y las alteraciones que tiene el agua de mina. Es en el año 2002 donde el Dpto. de Asuntos Ambientales comienza el monitoreo de los puntos de mina, para evaluar los cambios que se tiene y compararlo con la del año 2000. El Dpto. de Asuntos Ambientales-Volcán tiene como principal objetivo el control y minimización de los efluentes que emite, por tal razón, se tiene como principal trabajo cumplir con la normativa actual D.S. N°010-2010-EM/VMM-MINAM. Se empezaron los trabajos a finales del año 2002, se efectuó un monitoreo dentro de la mina con los mismos puntos que estableció PASMINGA y otros que tuvieron que establecer por criterio de las personas encargadas en aquel entonces.

Se determinó con los monitoreos realizados el caudal de agua ácida que salía de la mina (650 L/s), el rango de pH entre 3.5 y 5.5, así como también, la identificación de los metales pesados disueltos en esa agua ácida ( $Fe^{+2}$ ,  $Pb^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$ , etc.), por lo que se decidió implementar una planta de tratamiento de aguas ácidas, utilizando el método activo de neutralización.

Con esta planta se logró controlar y reducir los metales pesados presentes y adecuarse a la legislación D.S. 010-2010- LMP-Vertimiento de Aguas Industriales-MINAM. Ver Tabla N° 2.

Tabla N° 2. Límites Máximos Permisibles (LMP)

(Expresado en miligramos por litro)

Parámetro	pH	SST* mg/l	Cobre (Cu) mg/l	Plomo (Pb) mg/l	Zinc (Zn) mg/l	Fierro (Fe) mg/l	Arsénico (As) mg/l	Cianuro (CN) mg/l
Valor en cualquier momento	6<pH<9	50	0,5	0.2	1.5	2.0	0.1	1.0

Valor promedio anual	6<pH<9	25	0.4	0.16	1.2	1.6	0.08	0.8
----------------------	--------	----	-----	------	-----	-----	------	-----

\*SST = Sólidos en Suspensión Totales

Fuente: Ministerio del Ambiente: DS. N° 010-2010-LMP-MINAM/VMM

Con el paso de los años, las autoridades, tanto del Ministerio de Energía y Minas-MEM, así como el Ministerio del Ambiente-MINAM, vieron por conveniente agregar a la lista otros elementos, tales como el Manganeseo y Sulfatos (D.S. 004-2017-MINAM) - ECA (Estándar de Calidad Ambiental).

Para el caso de la tesis, la investigación tiene por finalidad reducir/controlar el ion manganeseo  $Mn^{+2}$  presente en las aguas que salen por la bocamina, debido a las actividades de explotación minera.

La actual planta de tratamiento por neutralización no contempla un proceso para reducir/controlar el ion manganeseo; para ello, se está realizando estudios a nivel laboratorio, evaluando un método o proceso que esté acorde a las características del manganeseo presente en las aguas ácidas. El punto de monitoreo inicial donde se obtendrán las muestras será en la bocamina, es aquí donde se analizará la concentración inicial del ion manganeseo (100 - 250 mg/L), para luego realizar las pruebas con la adición del agente oxidante hipoclorito de sodio y con el uso de lechada de cal para tener un control en el nivel del pH.

En la foto N°1 se puede observar la bocamina-salida del agua ácida del interior de las minas Carahuacra-San Cristóbal, con un caudal de aproximadamente de 650 L/s.



Foto N° 1. Boca Túnel-Mina Carahuacra-salida de agua ácida.

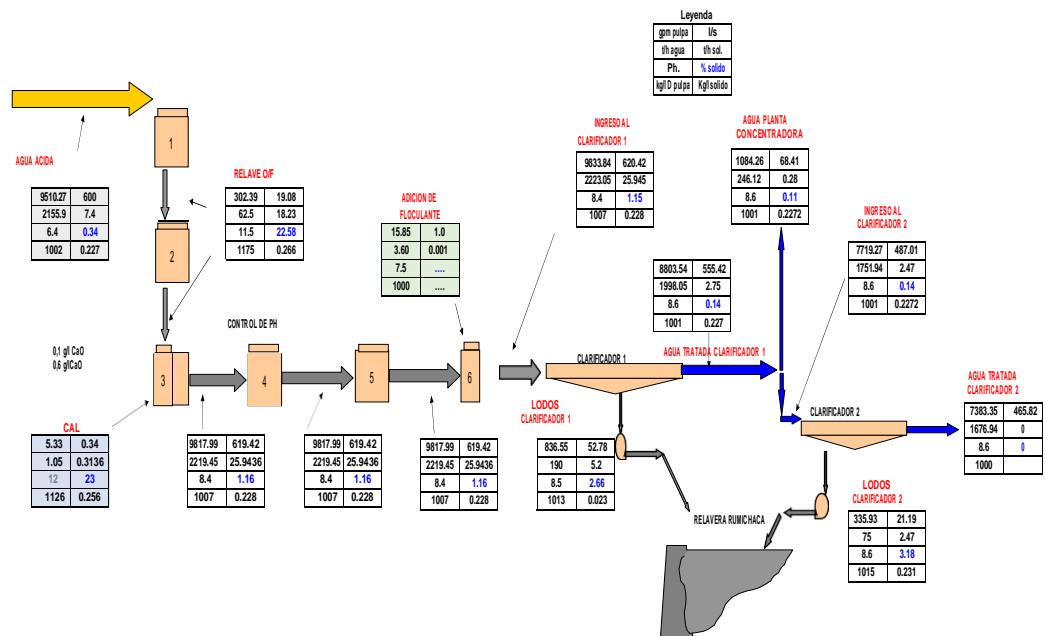
Debido a que la normativa referida al  $Mn^{+2}$  deberá entrar en rigor en el transcurso del año 2021, ya que la autoridad ha dado un plazo para que las empresas puedan adecuarse a la reducción de la concentración de este nuevo elemento en las aguas tratadas; la Compañía Minera Volcán, decide apoyar los estudios de la tesis, brindando las facilidades (muestras, análisis químicos, pruebas), con el objetivo de lograr implementar un método, con el cual se logre reducir y controlar la concentración del  $Mn^{+2}$  en el efluente final y que las aguas puedan ser vertidas al cuerpo receptor (rio Yauli), dentro de los LMP que contempla los nuevos ECA.

Para la remoción y reducción del manganeso, es necesario oxidarlo para luego hidrolizarlo, precipitarlo y evacuarlo en forma de lodos. Para ello, es necesario identificar el agente oxidante a utilizar y para este caso de la tesis se ha visto por conveniente la utilización del hipoclorito de sodio,

esto debido a su alto poder de oxidación, así como, a su bajo costo y disponibilidad que hace viable el proyecto.

Cabe indicar, que en el país aún no existe una planta de tratamiento de aguas ácidas que reduzca/controle el  $Mn^{+2}$ , es por ello, que este trabajo de tesis servirá de guía para que otras empresas puedan aplicarla en sus labores industriales. A continuación, se presenta la gráfica N°2, donde nos describe el diagrama de flujo de la actual planta de neutralización.

Gráfica N°2. Diagrama de flujo – Planta de Neutralización



### 2.1.3 Definición del Problema

#### Problema Principal

- ¿De qué manera la aplicación del Hipoclorito de Sodio- $NaOCl$  influye en la reducción de la concentración del  $Mn^{+2}$  para el mejoramiento de la calidad del agua del río Yauli?

### Problemas Específicos

- ¿De qué manera la concentración del NaOCl influye en la reducción de la concentración del  $Mn^{+2}$ ?
- ¿De qué manera el pH influye en la reducción de la concentración del  $Mn^{+2}$ ?
- ¿De qué manera la concentración del NaOCl influye en la calidad del agua?

## 2.2 Finalidad y Objetivos de la Investigación

### 2.2.1 Finalidad

Mediante la aplicación de un agente oxidante (hipoclorito de sodio), lograr la reducción de los niveles de concentración del  $Mn^{+2}$  en las aguas ácidas provenientes de las labores de mina, estas aguas actualmente son tratadas en la planta de neutralización para reducir metales pesados que están en forma iónica pero, no contempla el abatimiento del ion manganeso, por lo tanto, la finalidad es la reducción o mitigación de la concentración del ion manganeso hasta por debajo del LMP contemplado en la normativa legal, y con ello mejorar la calidad del agua del rio Yauli y el ecosistema de la zona.

### 2.2.2 Objetivo General y Específicos

#### Objetivo General

- Determinar la aplicación del Hipoclorito de Sodio (NaOCl) en la reducción de la concentración del  $Mn^{+2}$  para el mejoramiento de la calidad del agua del rio Yauli.

#### Objetivos Específicos

- Determinar la concentración y consumo del NaOCl para la reducción de la concentración del Mn<sup>+2</sup>.
- Determinar la influencia del pH en la reducción de la concentración del Mn<sup>+2</sup>.
- Determinar la influencia de la concentración del HClO en la calidad del agua.

### 2.2.3 Delimitación del Estudio

El estudio es realizado en la unidad de producción minera Volcán, en el Distrito de Yauli - Región Junín. El estudio tendrá una duración estimada de un año (2020-2021), con muestras y seguimiento vía análisis químicos de las calidades del agua en el río Yauli. Para poder cuantificar el impacto positivo del proceso es que, se debe comparar los resultados de las muestras obtenidas en los siguientes tres puntos:

Punto 1. Río Yauli, monitoreo aguas arriba de la planta de neutralización.

Punto 2. Río Yauli, monitoreo del efluente de las operaciones de la planta de neutralización. Punto 3. Río Yauli, monitoreo aguas abajo de la planta de neutralización.

A continuación, se muestran las fotos N°2, 3 y 4 respectivamente.





Foto N°2. Rio Yauli, aguas arriba.



Foto N°3. Rio Yauli, efluente de las operaciones planta de neutralización



Foto N°4. Rio Yauli, aguas abajo.

#### 2.2.4 Justificación e Importancia del Estudio

El Ministerio del Ambiente-MINAM, mediante la implementación de los nuevos Estándares de Calidad Ambiental – ECA 2017, ha visto por conveniente incluir al  $Mn^{+2}$ , como elemento que deberá ser removido o reducidos hasta un Límite Máximo Permisible (LMP), antes de ser vertidos a un cuerpo receptor que en este caso es el rio Yauli. El LMP contemplado para el  $Mn^{+2}$  es de 0.2 mg/L.

Las operaciones minero-metalúrgicas que generen aguas ácidas con contenidos de  $Mn^{+2}$  superiores al LMP, deberán implementar métodos fisicoquímicos, que reduzcan o eliminen este elemento; para ello el plazo máximo de adecuación al ECA es hasta el año 2021.

El presente estudio es importante, porque logrará reducir el nivel del  $Mn^{+2}$  en el rio Yauli y con ello se contribuirá a la recuperación del mismo, (Categoría 3- Bebida para Animales y Riego de Vegetales). Asimismo,

la empresa se estará adecuando a los nuevos Estándares de Calidad Ambiental que ha emitido el MINAM.

## 2.3 Hipótesis y Variables

### 2.3.1 Supuestos Teóricos

Hipoclorito de Sodio (NaClO):

El hipoclorito de sodio se usa como agente oxidante para la remoción de manganeso y también del hierro. El hipoclorito de sodio es usualmente el oxidante más conocido por su relativo bajo costo, disponibilidad y por la facilidad de manipulación. Como oxidante, este químico trabaja con el mismo principio que el ion hipoclorito ( $\text{ClO}^-$ ) formado en la desinfección. Inhibe el crecimiento de bacterias del hierro e inicia la oxidación del hierro y el manganeso.

Controles en el pH:

La oxidación del ion Mn se da en un medio alcalino, en un rango entre 8 y 9 de pH, por lo tanto, es importante generar este medio para que se pueda controlar/reducir este elemento y para que el agente oxidante tenga una eficiencia considerable en la remoción.

Mejoramiento de la calidad del agua del rio Yauli:

Actualmente el agua ácida tratada en la planta de neutralización cumple con adecuarse al D.S. 010-2010-LMP-MINAM, respecto a los metales pesados como el Fe, Cu, Pb, Zn, As, Hg, Cd, Cr, así como en valores de pH, TSS y conductividad; pero aún no se adecua al nuevo elemento Mn que se contemplará a partir de año 2021 en el ECA 2017.

El agua tratada en la planta de neutralización de la Cía. Volcán que es vertida al rio Yauli, contiene  $\text{Mn}^{+2}$  en concentraciones entre 100 y 250

mg/L (ppm) y el nuevo valor que se contemplará como LMP será de 0.2 mg/L (ppm).

Por lo tanto, mediante el método de oxidación que se aplicará en la planta de neutralización, previas pruebas a nivel laboratorio; se logrará reducir la concentración inicial del  $Mn^{+2}$  (salida de la bocamina) a niveles por debajo de lo que exige la normativa legal (0.2 mg/L).

Finalmente, el agua vertida al río Yauli, estará libre o con trazas de  $Mn^{+2}$  y esta agua reportará una Calidad III (Bebida para Animales y Riego de Vegetales).

### 2.3.2 Hipótesis Principal y Específicas

#### Hipótesis Principal

- La aplicación del Hipoclorito de Sodio reduce la concentración del  $Mn^{+2}$  y mejora la calidad del agua del río Yauli.

#### Hipótesis Específicas

- La concentración y la cantidad añadida del Hipoclorito de Sodio reduce la concentración del  $Mn^{+2}$  presente en el agua.
- El pH reduce la concentración del  $Mn^{+2}$  debido a la formación de óxido de manganeso ( $MnO_2$ ) para su posterior precipitación.
- La aplicación de Hipoclorito de Sodio mejora la calidad del agua de tal manera, que la convierte en agua de calidad III.

### 2.3.3 Variables e Indicadores

- Variable Independiente:

X1: Aplicación de hipoclorito de sodio (NaClO)

Indicadores:

X1: Concentración de hipoclorito de sodio: (%)

X2: Cantidad añadida de hipoclorito de sodio: (mg/L)

▪ Variable Dependiente:

Y1: Niveles de concentración del  $Mn^{+2}$  en el efluente final

Y2: Mejoramiento de la calidad del agua

Indicadores

Y1: Concentración final  $Mn^{+2}$ : (< 0.2 mg/L)

Y2: Calidad del agua: - pH (rango: 8.0 a 9.0)

- Calidad III

## CAPÍTULO III:

### MÉTODO, TÉCNICA E INSTRUMENTOS

#### 3.1 Población y Muestra

Las muestras recolectadas provienen del agua de mina del túnel Victoria (bocamina), muestreo realizado con intervalos de 30 minutos, durante 15 días intercalados y por espacio de 12 horas diarias, obteniéndose 22 muestras en total (88 sub muestras para las pruebas). El pH del agua de la mina Carahuacra-San Cristóbal, varía de moderadamente ácido (5.5) a ácido (3.5).

Se han realizado pruebas de laboratorio a las muestras de agua ácida recolectadas a la salida de la mina (bocamina). Estas muestras han sido neutralizadas adicionando pulpa de relave fino, el cual proviene de la planta concentradora; a fin de establecer los parámetros para lograr el abatimiento del ion manganeso, utilizando como agente oxidante el hipoclorito de sodio.

Se ha definido como factor de escalamiento de las pruebas de laboratorio a planta industrial un valor de 1 a 2. Por lo que el valor mínimo de contenido de manganeso para afirmar que una prueba de laboratorio sea satisfactoria deberá ser 0.1 mg/L; siendo 0.2 mg/L el valor establecido en el ECA 2017 - categoría de agua 3.

Para remover el manganeso hasta una concentración  $< 0.1$  mg/L, se requiere adicionar lechada de cal hasta un pH entre 8.5 a 9.0, aireación no forzada o sea normal, agitación mecánica y un tiempo de residencia mayor o igual a 20 minutos, tal como es lo utilizado en la planta actual.

Las pruebas se han separado en dos grupos: grupo A y grupo B. Estas



fueron realizadas con una muestra cabeza de agua de mina (bocamina Victoria) y pulpa de relave fino en la proporción (%) de 97.75/2.25 respectivamente. Las muestras de agua y relaves en la unidad minera fueron tomadas con apoyo del personal técnico de Volcán y luego remitidas a Lima por vía terrestre.

Todas las pruebas de laboratorio fueron realizadas en el laboratorio del Instituto de Minería y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Ingeniería y los análisis químicos de cada una de las pruebas fueron analizadas y reportadas por el laboratorio ambiental J. Ramón del Perú.

Todas estas pruebas fueron realizadas usando como agente neutralizante la pulpa de relave fino y la cal que se usa en la unidad minera Volcán, y en los procesos de la planta de neutralización de la unidad minera.

Las pruebas del grupo A fueron realizadas para determinar la química del proceso de tratamiento, es decir determinar el pH, o sea el medio alcalino adecuado para el tratamiento del ion manganeso y para que este sea removido hasta una concentración  $< 0.1$  mg/L, considerando que el factor de escala de laboratorio a planta es de 1 a 2.

Con este propósito, se ha realizado una serie de pruebas a pH 8.0, 8.5, 8.8 y 9.0. En cada una de las pruebas se han utilizado los mismos tiempos de aireación y sedimentación con la que se cuenta actualmente en la planta de neutralización; así tenemos: aireación del ambiente a un flujo de 0.2 L/min y un tiempo de aireación y neutralización de 20 minutos, para luego la muestra ser filtrada utilizando un papel filtro N° 40.

Las pruebas del grupo B fueron realizadas para determinar la concentración (%) y la cantidad añadida (mg/L) del agente oxidante-hipoclorito de sodio.

Para las pruebas con hipoclorito, se han llevado a cabo las pruebas utilizando concentraciones desde 0.02%, 0.03%, 0.05% y 0.08% y para evaluar la cantidad añadida de este agente oxidante, se han realizado pruebas añadiendo cantidades desde 0.5 mg/L, 0.8 mg/L, 1.0 mg/L y 1.5 mg/L. Bajo este contexto, se ha tratado el agua de bocamina con pulpa de relave hasta un pH máximo de 9. Las condiciones del proceso de estas pruebas, se puede observaren las tablas 3 y 4.



**Tabla N°3 Condiciones de las pruebas de laboratorio del grupo A**

Prueba N°	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	10A	11A	12A	13A	14A	15A
pH	8.0	8.0	8.0	8.0	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.8	8.8	8.8	8.8	9.0	9.0
Cal (g/L)	0.5936	0.6021	0.7025	0.6340	0.7092	0.7244	0.7799	0.6862	0.7100	0.9109	0.9347	0.9669	0.8716	0.9499	0.9631
Aireación inicial (min)	0	0	0	15	0	0	0	0	15	0	0	0	15	0	15
Aireación + neutralización (min)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Flujo de aire (L/min)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0.2
Hipoclorito de sodio (%)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Cantidad añadida Hipoclorito (mg/L)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Decantación (min)+ Filtración	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F
Código	CA-02A	CA-04A	CA-06A	CA-11	CA-01A	CA-03A	CA-05A	CA-07	CA-09	CA-12	CA-13	CA-14	CA-15	CA-08	CA-10

**Tabla N°4 Condiciones de las pruebas de laboratorio del grupo B**

Prueba N°	1B			2B			3B				4B				5B		
pH	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.5	8.5	8.5	8.5	8.8	8.8	8.8	8.8	9.0	9.0	9.0
Cal (g/L) de volcán	0.5936	0.6021	0.7025	0.6340	0.6320	0.6280	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530
Aireación inicial (min)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aireación+ neutralización (min)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Flujo de aire (L/min)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Hipoclorito de sodio (%)	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.08	0.08	0.08
Cantidad añadida Hipoclorito (mg/L)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5
Decantación (min)+ Filtración	15 + F	15 + F	15 + F	25 + F	25 + F	25 + F	30 + F	30 + F	30 + F	30 + F	45 + F	45 + F	45 + F	45 + F	60 + F	60 + F	60 + F
Código	CA-16	CA-17	CA-18	CA-19	CA-20	CA-21	CA-22	CA-23	CA-24	CA-25	CA-26	CA-27	CA-28	CA-29	CA-30	CA-31	CA-32

### 3.2 Diseño a utilizar en el estudio

La presente tesis se enmarca en el área del diseño de investigación experimental, ya que, para fines de validación de las hipótesis, contrastación con el planteamiento del problema y los objetivos de la investigación, se empleó la experimentación a escala de laboratorio. Por lo tanto, se ha definido como factor de escalamiento de las pruebas de laboratorio a planta industrial un valor de 1:2. Por lo que el valor mínimo de contenido de manganeso para afirmar que una prueba de laboratorio sea satisfactoria es de 0.1 mg/L, siendo 0.2 mg/L el valor establecido en el Estándar de Calidad Ambiental – ECA 2017 - Categoría de Agua 3.

### 3.3 Técnica e Instrumento de Recolección de Datos

La recolección de datos (muestras), es de acuerdo al Protocolo de Monitoreo de Aguas (Resolución Jefatural N°182-2011-ANA).

Las muestras de agua en estudio (bocamina), serán analizadas por concentración de  $Mn^{+2}$ , tanto, antes como después de las pruebas, y estas serán extraídas del punto de monitoreo MA-04, declarado ante la autoridad ambiental y monitoreados por ellos mismos, (MINAM).

La extracción de las muestras en el punto de monitoreo mencionado se efectuará en envases de polietileno de un litro y se trasladará al laboratorio para su proceso. Ya en el laboratorio, inicialmente se medirán los parámetros fisicoquímicos de las muestras, tales como: concentración inicial del  $Mn^{+2}$ , pH, conductividad eléctrica, temperatura y turbidez.

Las pruebas de laboratorio se realizaron en la Universidad Nacional de Ingeniería, en el laboratorio del Instituto de Minería y Medio Ambiente.

### 3.4 Procesamiento de Datos

Se han realizado en total 22 pruebas de laboratorio, divididas en dos grupos: el grupo A, comprende las pruebas hechas con una muestra cabeza de agua de mina más relave fino, con el fin de determinar la química del proceso, es decir determinar el pH adecuado para tratar el Mn y lograr su reducción o contenido en estas aguas; y el grupo B, representa las pruebas hechas con una muestra cabeza de agua de mina más relave fino, para determinar la concentración y la cantidad añadida del agente oxidante-hipoclorito de sodio. Las pruebas que comprende el grupo A fueron realizadas con la finalidad de observar la influencia del pH y el tiempo de aireación en la remoción de manganeso. El procedimiento utilizado en dichas pruebas se muestra en las tablas 5, 6 y 7.

Tabla N°5. Procedimiento resumen de pruebas de laboratorio del grupo A

<b>Muestra Cabeza: Agua de mina con relave</b>		
<b>Tipo de prueba</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Muestra</b>
Nº 1A	Aireación y agitación por 20' + Neutralización con agitación a pH 8.0	UNI-CA-A
Nº 2.A	Aireación 20' + Neutralización con agitación, pH 8	UNI-CA-B
Nº 3.A	Neutralización con aireación por 20', pH 8	UNI-CA-1, UNI-CA-2
Nº 4.A	Neutralización con aireación por 20', pH 8	UNI-CA-5A, UNI-CA-5B
Nº 5.A	Neutralización con aireación por 20', pH 8.5	UNI-CA-3, UNI-CA-4

Para observar la influencia del pH en la remoción del manganeso previo a la oxidación en la remoción de manganeso, se realizó la prueba mostrada en la tabla N°6. Para ello, se extrajo sucesivamente, muestras de 200 mL, enviándose al laboratorio para el análisis.

Tabla N°6. Procedimiento resumen pruebas de laboratorio del grupo A

Tipo de prueba	Procedimiento	Muestra*
N° 6.A	Neutralización con aireación por 15', pH 8.5	UNI-CA16-1, UNI-CA16-2, UNI-CA16-3, UNI-CA16-4

A fin de observar la influencia que tendría una mayor neutralización incrementando el pH para la remoción de manganeso, se realizó la prueba mostrada en la tabla N°7.

Se siguió inicialmente el mismo procedimiento anterior de la tabla N°6, pero al llegar a un tiempo aireación y neutralización de 20 minutos, se decantó para separar el lodo y agregarlo a una nueva muestra de agua de mina aireada al ambiente, como recirculación. Esto se hizo 3 veces, tal como indica el procedimiento de la tabla N°7.

Tabla N°7. Procedimiento resumen de pruebas de laboratorio del grupo A

Tipo de prueba	Procedimiento	Muestra*
N° 7.A	Neutralización con aireación por 20', pH 8,5	UNI-CA17-1, UNI-CA17-2, UNI-CA17-3, UNI-CA17-4

Las pruebas del grupo B fueron realizadas para determinar la concentración (%) y la cantidad añadida (mg/L) del agente oxidante (hipoclorito de sodio). Fueron realizadas para observar la influencia de la concentración y la cantidad añadida, en la remoción de manganeso a diversos valores, y concluir con la eficiencia (%) de remoción del ion manganeso. Los procedimientos utilizados en dichas pruebas se presentan en las tablas N° 8, 9, 10.

Tabla N°8. Procedimiento resumen de pruebas de laboratorio del grupo B

<b>Muestra Cabeza: Agua de mina sin relave</b>		
<b>Tipo de prueba</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Muestra*</b>
N° 1.B	Neutralización con aireación por 20', pH 8 + dosis de 0.5 mg/L + concentración de 0.02%.	UNI-CA7

Para comparar los resultados en la remoción de manganeso de un proceso, se realizaron las pruebas mostradas en la tabla N° 9. Una vez finalizado, se extrajo una muestra de 400 mL, y se envió al laboratorio para su análisis.

Tabla N°9. Procedimiento resumen de pruebas de laboratorio del grupo B

<b>Tipo de prueba</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Muestra*</b>
N° 2.B	Neutralización con aireación por 20', pH 8 + dosis de 0.5 mg/L + concentración de 0.03%.	UNI-CA8-1, UNI-CA8-2
N° 3.B	Neutralización con aireación por 20', pH 8.5 + dosis de 0.8 mg/L + concentración de 0.03%.	UNI-CA9-1, UNI-CA9-2
N° 4.B	Neutralización con aireación por 20', pH 8.8 + dosis de 1.0 mg/L + concentración de 0.05%.	UNI-CA8-3, UNI-CA8-4

Analizando los resultados de las pruebas de la tabla N° 9, se observó que luego de finalizar, con el procedimiento común a pH 8.8, y con la cantidad añadida y concentración del agente oxidante utilizado (hipoclorito de sodio), ayuda notablemente en la remoción del manganeso sin mayor consumo de cal.

Por ello, se continuó realizando pruebas de laboratorio para observar que sucede incrementando el pH por encima de 8.5.

Tabla N°10. Procedimiento resumen de pruebas de laboratorio del grupo B

Tipo de prueba	Procedimiento	Muestra*
N° 5.B	Neutralización con aireación por 20', pH 9 + dosis de 1.5 mg/L + concentración de 0.08%.	UNI-CA9-3, UNI-CA9-4
N° 6.B	Neutralización con aireación por 20', pH 9.2 + dosis de 1.5 mg/L + concentración de 0.08%.	UNI-CA9-5, UNI-CA9-6
N° 7.B	Neutralización con aireación por 20', pH 9.5 + dosis de 1.8 mg/L + concentración de 0.1%.	UNI-CA9-5, UNI-CA9-6
N° 8.B	Neutralización con aireación por 20', pH 9.5 + dosis de 2.0 mg/L + concentración de 0.2%.	UNI-CA9-5, UNI-CA9-6

También, es necesario dar a conocer que la información obtenida al momento de trabajar las muestras, se registraron en el formato 1 que se observa en el Anexo, donde se registra el tipo de prueba, tiempo, caudal de aire, agente oxidante utilizado, volumen añadido y concentración del agente oxidante.

Una vez realizadas las pruebas y completada toda la información con los resultados de los análisis químicos, esta se procesa en los formatos 3 y 4 que se muestran a continuación, y representan los resultados de las pruebas del grupo A y B respectivamente.

Finalmente se elabora los cuadros y se interpreta los resultados, tal como se muestra en el capítulo siguiente.

### Formato 2 (Grupo A)

Prueba N°	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	10A	11A	12A	13A	14A	15A
pH	8.0	8.0	8.0	8.0	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.8	8.8	8.8	8.8	9.0	9.0
Cal (g/L)															
Aireación inicial (min)															
Aireación + neutralización (min)															
Flujo de aire (L/min)															
Floculante (0.02 %)															
Dosis floculante (mg/L)															
Decantación (min) + Filtración															
Código															
Cód. Lab.															
Parámetros															
<b>Metales Totales (ICP)</b>	Arsénico														
	Cadmio														
	Cobre														
	Hierro														
	<b>Manganeso</b>														
	Plomo														
	Zinc														

### Formato 3 (Grupo B)

Prueba N°	1B			2B			3B				4B				5B		
pH	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.5	8.5	8.5	8.5	8.8	8.8	8.8	8.8	9.0	9.0	9.0
Cal (g/L) de Volcan																	
Aireación inicial (min)																	
Aireación + neutralización (min)																	
Flujo de aire (L/min)																	
Hipoclorito Na (0.02%)																	
Dosis Hipoclorito (mg/L)																	
Decantación (min)+ Filtración																	
Código																	
Cód. Lab. UNI																	
Parámetros																	
Metales totales (ICP)	Arsénico																
	Cadmio																
	Cobre																
	Hierro																
	Manganeso																
	Plomo																
	Zinc																



## CAPÍTULO IV:

### PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 4.1 Presentación de Resultados

Observaciones físicas:

Respecto a las pruebas del grupo A, la apreciación física más notoria la constituye la presencia de sólidos suspendidos en las muestras decantadas. En las muestras decantadas, se puede apreciar mayor presencia de sólidos suspendidos a menor pH en el proceso; sin embargo, los volúmenes de sólidos decantados se incrementan conforme el pH del proceso aumenta. Ver foto N° 5.

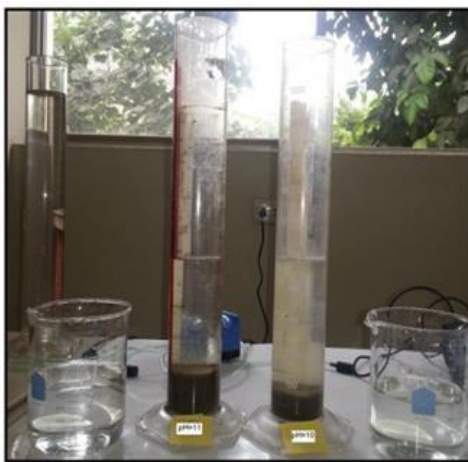


Foto N° 5. Comparación del volumen de lodo después del tratamiento del agua de mina + relave fino a pH 8.5 (probeta de la derecha) y a pH 9 (probeta de la izquierda), con 0.5 mg/L de hipoclorito de sodio y aireación normal.

Respecto a las pruebas del grupo B, un aspecto físico importante que se aprecia está referido a la cantidad de óxidos de Mn decantados. Ver la foto N° 6.

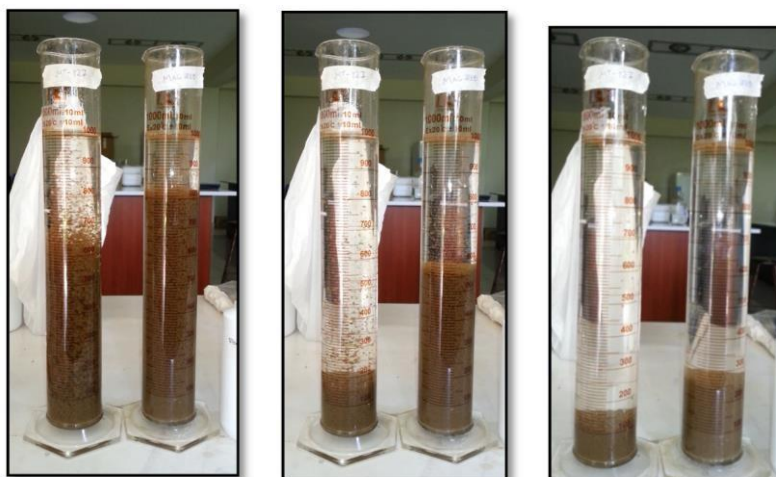


Foto N° 6. Comparación de las velocidades de sedimentación y volumen de lodos, tratando el agua de mina + relave fino a pH 8.5 con hipoclorito de sodio y a la misma dosis 0.5 mg/L.

Resultados de laboratorio:

A continuación, se muestran los resultados de las pruebas realizadas en el laboratorio del Instituto de Minería y Medio Ambiente de la UNI, y procesadas por mi persona.

De acuerdo a las coordinaciones realizadas con la jefatura de Medio Ambiente de la Compañía Minera Volcán, las muestras obtenidas que se remitieron para las pruebas de este informe se realizaron entre octubre del 2019 y marzo 2020; estas fueron el resultado de obtener una muestra compuesta, formada por porciones de agua tomada cada media hora durante un tiempo de ocho horas y las muestras de pulpa de relave fino proveniente de la planta concentradora. Las muestras en volúmenes aproximados de 50 litros fueron remitidas a Lima vía una agencia terrestre.

Las muestras de agua ácida a la salida de la bocamina, así como la pulpa de

relave fino y la mezcla de ambas, tienen contenidos de metales en tales soluciones tal como se muestra en la tabla N°13.

Tabla 13. Concentraciones de metales en el agua ácida-relave fino y mezcla  
(Agua de bocamina-Túnel Victoria)

Procedencia	Túnel Victoria	Túnel Victoria	Túnel Victoria	Túnel Victoria + relave fino	Túnel Victoria	Líquido de relave fino	
Fecha de toma de muestra	31/10/2019	11/12/2019	26/02/2020	26/02/2020	03/03/2020	03/03/2020	
Código	<b>CUNI-1CA</b>	<b>CUNI-16CA-0</b>	<b>CUNI-00A</b>	<b>CUNI-00B</b>	<b>CUNI-001</b>	<b>CUNI-002*</b>	
Cód. Lab.	06111-24703	07154-28996	1402121	1402122	1403326	1403328	
pH	5.8	5.8	4.53	5.2	4.27	10.5	
Parámetros	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
<b>Metales totales (ICP)</b>	Arsénico	0.0829	0.3059	0.3678	38.529	0.4522	0.2616
	Cadmio	0.0238	0.0437	0.1175	0.1577	0.1239	<0.0015
	Cobre	0.125	1.191	4.777	5.824	6.189	0.130
	Hierro	506.8	138.8	180.8	506.9	186.7	20.4
	Manganeso	<b>85.50</b>	<b>91.82</b>	<b>136.50</b>	<b>256.6</b>	<b>152.10</b>	<b>8.34</b>
	Plomo	0.3641	21.141	2.707	5.509	3.944	0.224
	Zinc	50.35	79.19	116.3	127.6	> 100.0	110.50

(\*): Líquido clarificado del relave fino  
Fuente: Laboratorio UNI.

Los resultados de las pruebas de laboratorio fueron ordenados y tratados a fin de obtener las tablas N° 14 y 15.

**Tabla N° 14. Resultados de las pruebas de laboratorio del grupo A**

Prueba N° GRUPO "A"		1B			2B			3B				4B				5B		
pH		8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.5	8.5	8.5	8.5	8.8	8.8	8.8	8.8	9.0	9.0	9.0
Cal (g/L)		0.5936	0.6021	0.7025	0.6340	0.6320	0.6280	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530
Aire inicial (min)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aireación + neutr (min)		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Aire (L/min)		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
NaClO (%)		0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08	0.08	0.08
NaClO (mg/L)		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5
Decan (min)+ Filtr		15 + F	15 + F	15 + F	25 + F	25 + F	25 + F	30 + F	30 + F	30 + F	30 + F	45 + F	45 + F	45 + F	45 + F	60 + F	60 + F	60 + F
Código		CA-16	CA-17	CA-18	CA-19	CA-20	CA-21	CA-22	CA-23	CA-24	CA-25	CA-26	CA-27	CA-28	CA-29	CA-30	CA-31	CA-32
Cód. Lab. UNI		1402701	1402702	1402703	1402704	1402705	1402706	1402766	1402767	1402768	1402769	1402770	1E+06	1402772	1402773	1402774	1402775	1402776
Parámetros		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Metales totales (mg/L)	As	< 0.0092	< 0.0092	0.0330	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092
	Cd	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	0.0024	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	0.0019	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015
	Cu	0.0181	0.0191	0.0187	0.0193	0.0212	0.0156	0.0150	0.0131	0.0132	0.0134	0.0130	0.0150	0.0145	0.0129	0.0102	0.0093	0.0120
	Fe	0.3875	0.2774	0.1743	0.1446	0.1024	0.0799	0.4135	0.3142	0.3272	0.2543	0.3091	0.2207	0.2142	0.1330	0.2445	0.2386	0.1999
	Mn	0.393	0.278	0.182	0.174	0.165	0.119	0.218	0.143	0.125	0.110	0.213	0.132	0.115	0.079	0.080	0.082	0.072
	Pb	< 0.004	0.009	< 0.004	0.012	0.006	< 0.004	0.005	0.019	< 0.004	< 0.004	< 0.004	0.025	0.007	0.013	< 0.004	0.008	< 0.004
	Zn	0.1793	0.1367	0.1003	0.0925	0.070	0.0676	0.1079	0.0778	0.0731	0.0593	0.1069	0.0797	0.1040	0.0501	0.1062	0.0796	0.0662

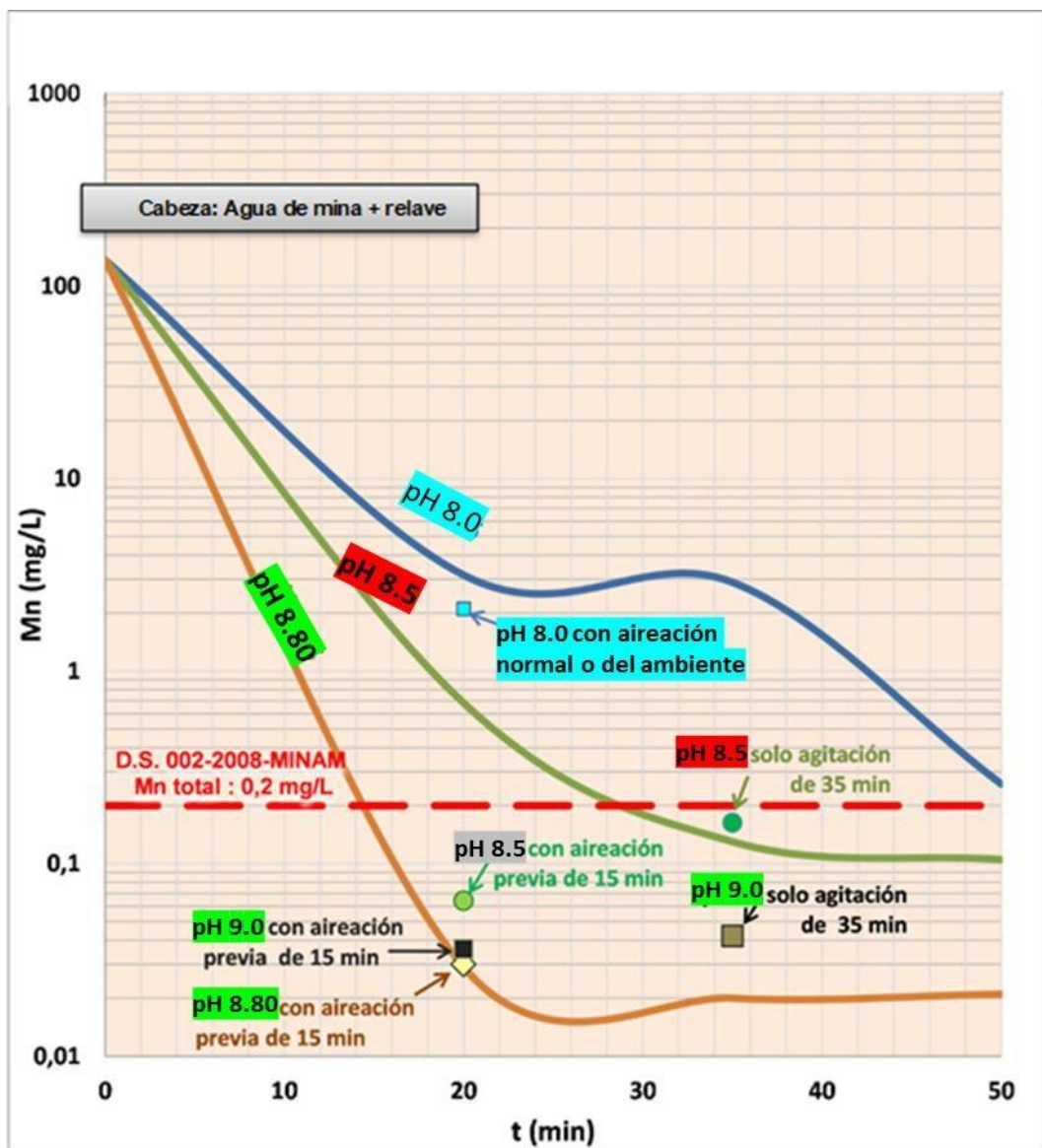
**Tabla N° 15. Resultados de las pruebas de laboratorio del grupo B**

Prueba N° GRUPO "B"	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	10A	11A	12A	13A	14A	15A	
pH	8.0	8.0	8.0	8.0	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.8	8.8	8.8	8.8	9.0	9.0	
Cal (g/L)	0.5936	0.6021	0.7025	0.6340	0.7092	0.7244	0.7799	0.6862	0.7100	0.9109	0.9347	0.9669	0.8716	0.9499	0.9631	
Aireación inicial (min)	0	0	0	15	0	0	0	0	15	0	0	0	15	0	15	
Aire + neutr (min)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Flujo de aire (L/min)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
NaClO (0.02 %)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
Dosis NaClO (mg/L)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Decan (min) + Filt	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	15 + F	
Código	CA-02A	CA-04A	CA-06A	CA-11	CA-01A	CA-03A	CA-05A	CA-07	CA-09	CA-12	CA-13	CA-14	CA-15	CA-08	CA-10	
Cód. Lab.	1402552	1402550	1402553	1402551	1402401	1402402	1402403	1402119	1402120	1402554	1402555	1402556	1402557	1402404	1402405	
Parámetros	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
Metales Totales (mg/L)	As	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	0.0156	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	< 0.0092	0.0095	< 0.0092	< 0.0092
	Cd	0.0018	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	0.0016	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015	< 0.0015
	Cu	0.0036	0.0060	0.0068	0.0045	0.0178	0.0069	0.0024	0.0060	0.0086	0.0059	0.0020	0.0056	0.0068	0.0084	0.0048
	Fe	0.0142	0.1883	0.0610	0.0126	0.5198	0.1091	0.1123	0.0556	0.0354	0.0336	0.0339	0.0389	0.0270	0.0485	0.0427
	Mn	3.153	2.891	0.259	2.098	0.683	0.130	0.105	0.163	0.064	0.029	0.020	0.021	0.030	0.032	0.020
	Pb	<0.004	0.008	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	0.026	0.018	0.005	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
	Zn	0.0225	0.1076	0.0627	0.0185	0.0942	0.0360	0.0430	0.0451	0.0260	0.0325	0.0251	0.0331	0.0358	0.0533	0.0531

Gráfica para la determinación del pH y el tiempo de neutralización:

A partir de los resultados de las pruebas del grupo A mostrados en la tabla N° 14, se elaboró el gráfico N° 3, el cual muestra la concentración de manganeso que se obtiene a escala laboratorio luego de tratar el agua de mina + relave fino a pH 8.0, 8.5, 8.8 y 9.0, forzando ligeramente la aireación.

Gráfico N° 3 Concentración de manganeso a pH 8.0, 8.5, 8.8 y 9.0.



- La curva de color azul incluye la concentración de Mn final de las pruebas N° 1A, 2A y 3A.
- El punto celeste representa la concentración de Mn final de la prueba N° 4A.
- La curva de color verde incluye la concentración de Mn final de las pruebas N° 5A, 6A y 7A.
- El punto verde, ubicado entre la curva a pH 8.0 y 8.5, representa la concentración de Mn final de la prueba N° 8A.
- El punto verde, ubicado entre la curva a pH 8.5 y 8.8, representa la concentración de Mn final de la prueba N° 9A.
- La curva de color naranja incluye la concentración de Mn final de las pruebas N° 10A, 11A y 12A.
- El punto amarillo representa la concentración de Mn final de la prueba N° 13A.
- El punto negro representa la concentración de Mn final de la prueba N° 15A.
- El punto marrón representa la concentración de Mn final de la prueba N° 14A.

Asimismo, se ha elaborado el gráfico 4 y 5, donde se muestra el consumo de cal (gr/L) para la neutralización durante las pruebas realizadas con las muestras de los grupos A y B.

Gráfico N° 4. Curva de Neutralización (pH vs Consumo de cal para las pruebas del grupo A)

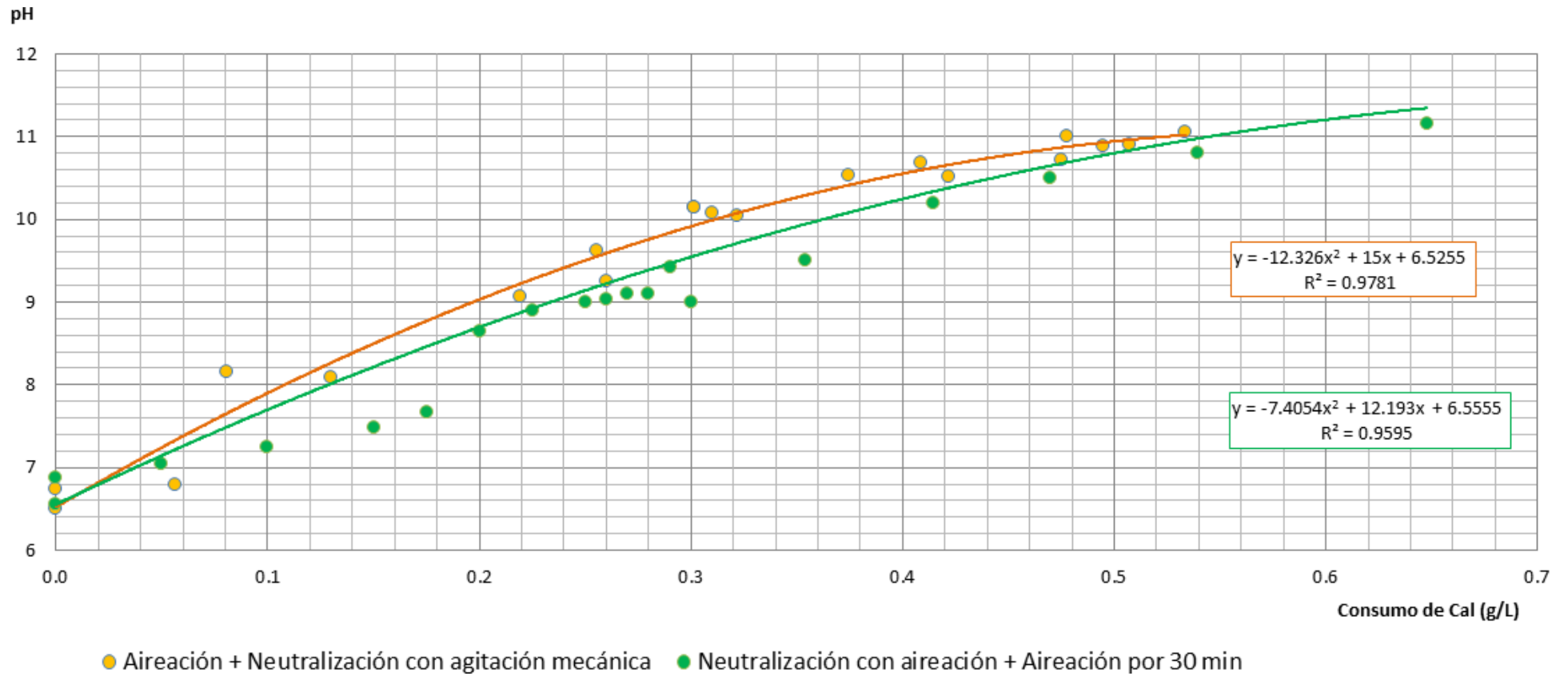
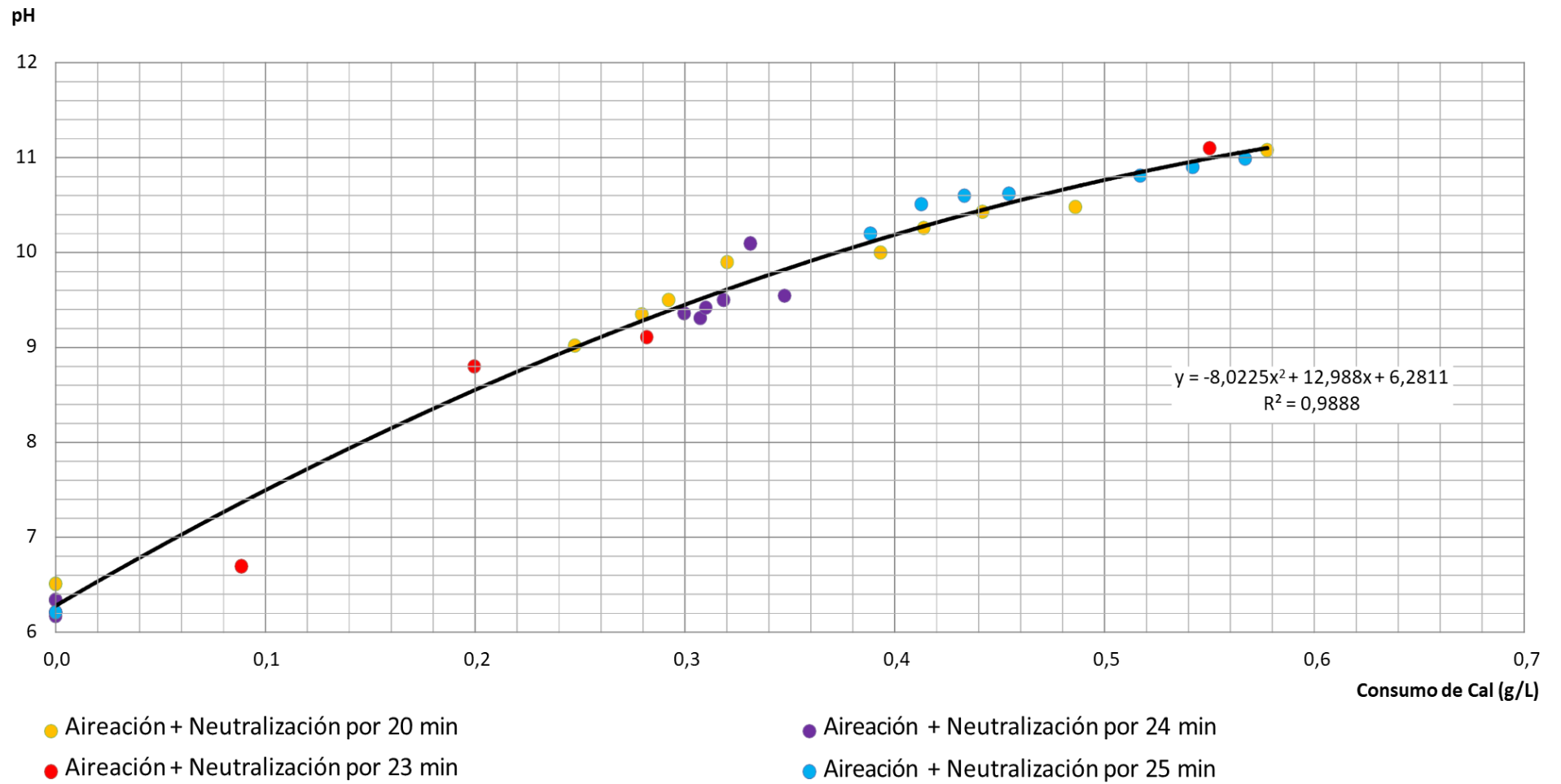


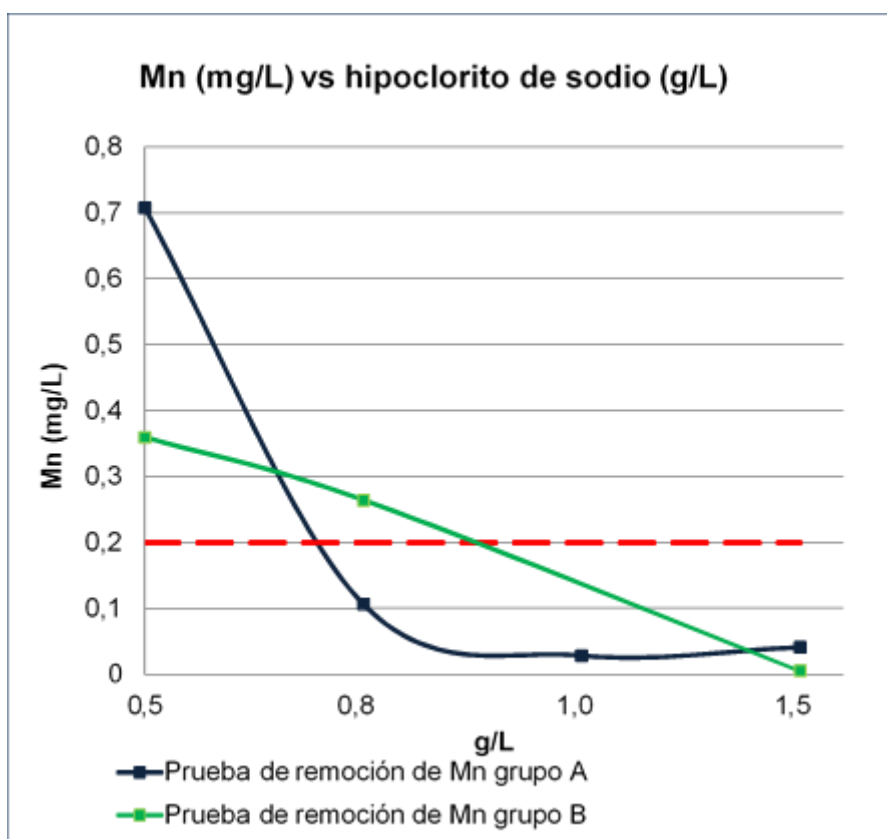


Gráfico N° 5. Curva de Neutralización (pH vs Consumo de cal para las pruebas del grupo B)



A continuación, se muestra la elaboración de la gráfica N° 6, de la remoción del manganeso versus el uso de hipoclorito de sodio; esto, usando los datos obtenidos en las tablas N° 14 y 15, que son los resultados de los grupos A y B respectivamente.

Gráfica N° 6.

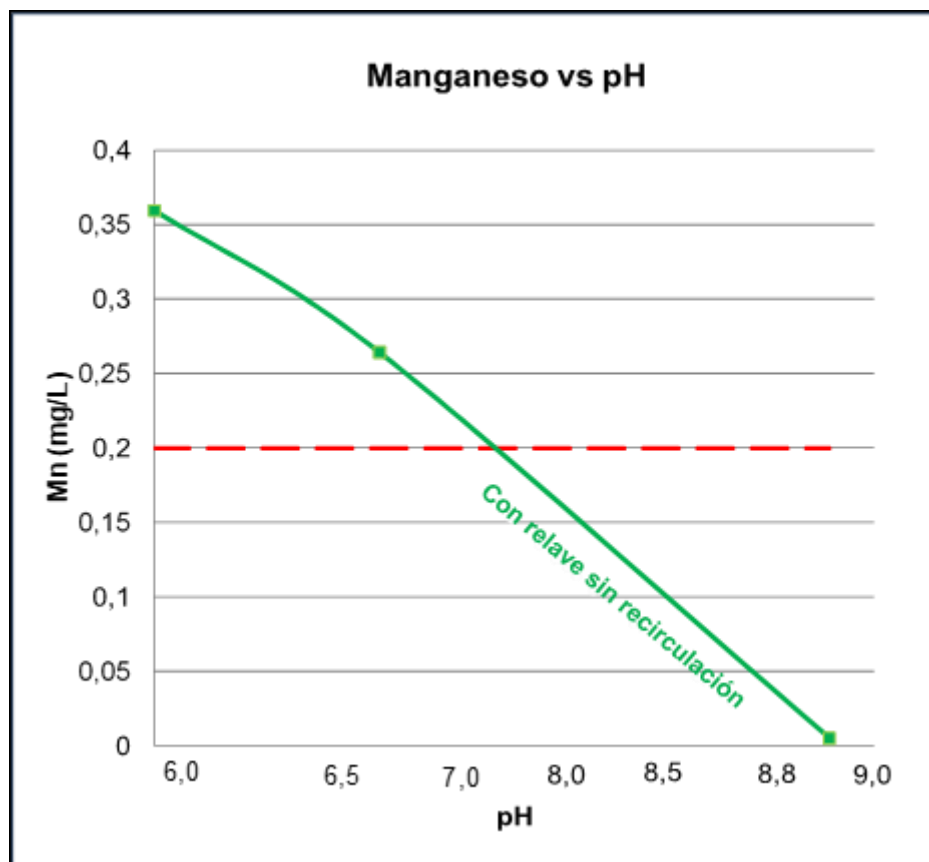


Podemos concluir a partir de la gráfica 6 que, los resultados de las pruebas del grupo A reportan valores de  $Mn^{+2}$  por debajo de 0.1 mg/L a partir de una dosificación o cantidad añadida de 0.8 mg/L de hipoclorito de sodio, y se nota estable hasta un valor de adición de 1.5 mg/L. Respecto al grupo B, a partir de 1.2 mg/L de dosificación o cantidad añadida de hipoclorito de sodio, se observa que el  $Mn^{+2}$  empieza a removerse por debajo de 0.1 mg/L. En conclusión, la gráfica nos dice que los mejores resultados de remoción de  $Mn^{+2}$  y que se

encuentren por debajo de 0.1 mg/L son los del grupo A; teniendo en cuenta el factor de escalamiento que es de 2.

También se muestra a continuación en el siguiente gráfico N° 7, el efecto del pH en la remoción del ion manganeso, donde vemos que cuando el pH está en un rango entre 8.3 y 8.9, la remoción es significativa; cabe indicar que la fuerza o grado de pureza de cal empleada, deberá estar en un rango del 70 al 80% CaO.

Gráfica N° 7.



#### 4.2 Contratación de Hipótesis

a) Hipótesis Principal: de acuerdo a las pruebas llevadas a cabo con el agente oxidante (Hipoclorito de Sodio), este producto químico reduce la concentración

del ion manganeso  $Mn^{+2}$  a niveles por debajo del LMP que es 0.2 mg/L; es un agente relativamente barato y fácil disponibilidad en el mercado industrial.

b) Hipótesis Secundarias: El agente oxidante utilizado deberá tener la concentración y la dosis o cantidad añadida adecuada, y con ello, según los resultados de las pruebas realizadas, reduce significativamente la concentración del ion manganeso en las aguas provenientes del interior de la mina, a tal punto que, estará por debajo del LMP (0.2 mg/L) exigido en la normativa legal.

También el pH es muy importante ya que cuando al ion manganeso está en un rango de 8,5 a 9,0 este ion  $Mn^{+2}$  se oxida rápidamente a  $Mn^{+4}$  para luego precipitarse como óxido de manganeso  $MnO_2$  y así ir eliminándolo de las aguas ácidas hasta lograr una concentración por debajo del LMP.

#### 4.3 Discusión de Resultados

Pruebas del grupo A: Química del proceso.

Para determinar la química del proceso, se realizaron pruebas de neutralización y precipitación del elemento manganeso a diversos pH de proceso. Se usó el flujo de aire del ambiente (0.2 L/min) y un tiempo de 20 minutos de neutralización y aireación. Así también, se mantuvo constante y como punto de partida la concentración de hipoclorito de sodio de 0.02% y su dosificación o cantidad añadida de 0.5 mg/L.

Como se puede apreciar en la tabla N° 13 y la siguiente tabla N° 16, los resultados de las pruebas indican que habría una mayor remoción (del orden de 99.99 %) del manganeso; siempre y cuando el pH del proceso se mantiene entre 8.5 hasta cercano a 9.0. Con estos valores las concentraciones del ion manganeso serían  $< 0.1$  mg/L, considerando que el factor de escala de

laboratorio a planta es de 1 a 2; vale recordar que el LMP para el  $Mn^{+2}$  es de 0.2 mg/L y, por lo tanto, estaríamos adecuándonos a la nueva legislación ambiental respecto al manganeso.

Tabla 16. Resultados de pruebas de neutralización y precipitación del  $Mn^{+2}$

pH	Concentración de Mn (mg/L)				
	Muestra cabeza (mg/L)	Hipoclorito de sodio (Concentración % / Dosis mg/L)			
		0.02 / 0.5	0.02 / 0.8	0.02 / 1.0	0.02 / 1.5
8.0	241.6	7.235	5.340	4.245	4.235
% remoción		97.005	97.790	98.243	98.350
8.5	241.6	3.153	2.891	0.259	0.255
% remoción		98.695	98.803	99.899	99.893
8.8	241.6	0.683	0.130	0.112	0.101
% remoción		99.717	99.946	99.956	99.958
9.0	241.6	0.029	0.020	0.021	0.020
% remoción		99.988	99.992	99.992	99.992
ECA-LMP- para Mn (mg/L)		0.20	0.20	0.20	0.20

Elaborado: Laboratorio del Instituto de Minería y Medio Ambiente-UNI

También se ha realizado una prueba para cada pH evaluado, utilizando una aireación normal con diferente tiempo antes de neutralizar la solución tratada para ver el efecto del aire, en la remoción del ion manganeso. Los resultados, tomando como base el ion manganeso indican que hay un efecto ligeramente positivo por una mayor velocidad de remoción de este elemento. Debido a lo anterior es que, se deja a consideración de las operaciones en la planta de neutralización, utilizar aire forzado. Ver la tabla N° 13 y la siguiente tabla N° 17. En este caso, la remoción de manganeso es importante (del orden de 99.975 %) si el pH del proceso se mantiene igual o mayor a 8.5.

Tabla 17. Resultados de pruebas de neutralización y precipitación de  $Mn^{+2}$  con aireación inicial

pH	Concentración de Mn (mg/L)			
	Muestra cabeza (mg/L)	Hipoclorito de sodio (Concentración % / Dosis mg/L)		
		0.02 / 1.0	0.05 / 0.8	0.05 / 1.0
8.5	241.6	0.259	2.891	0.193
% remoción		99.899	98.873	99.920
8.8	241.6	0.112	0.110	0.085
% remoción		99.956	99.957	99.965
9.0	241.6	0.021	0.020	0.020
% remoción		99.992	99.992	99.992
ECA-LMP- para Mn (mg/L)		0.20	0.20	0.20

Fuente: Laboratorio del Instituto de Minería y Medio Ambiente-UNI

Finalmente, en esta etapa de pruebas (química del proceso) se realizó una prueba a pH 9, y otra a pH 9.5, con aireación normal dentro del proceso de neutralización y precipitación de manganeso, es decir, solo la muestra se mantuvo agitada al pH del proceso establecido versus un pH fuera del proceso establecido, para observar cual es el efecto de un pH por encima de 9 sobre la remoción del manganeso. Veamos la tabla N° 13 y la siguiente tabla N° 18, en donde se aprecia la comparación de estos, con los resultados para tiempos ligeramente distintos, con aireación normal o del ambiente. En este caso, la remoción del Mn (%) es prácticamente similar (99.89 %), si el pH del proceso se mantiene igual o mayor a 8.5 e inclusive hasta 9.

Tabla 18. Resultados de pruebas de neutralización y precipitación de  $Mn^{+2}$  sin aireación (solo agitación)

pH	Muestra cabeza mg/L	Concentración de Mn (mg/L)	
		Aireación normal: 20 min	Aireación normal: 25 min
9.0	<b>256.6</b>	<b>0.163</b>	<b>0.130</b>
% remoción		99.936	99.949
9.5	<b>256.6</b>	<b>0.154</b>	<b>0.120</b>
% remoción		99.942	99.962
ECA para Mn		0.20	0.20

Fuente: Laboratorio del Instituto de Minería y Medio Ambiente-UNI

Pruebas del grupo B: Concentración y Cantidad añadida de Hipoclorito de Sodio

Habiendo definido la química del proceso, se realizaron las pruebas para determinar la eficacia del agente oxidante respecto a la remoción del  $Mn^{+2}$ .

En este sentido, se realizaron pruebas utilizando concentraciones y dosificaciones o añadiendo cantidades diferentes de  $ClNaO$ , pero a pH ya establecidos.

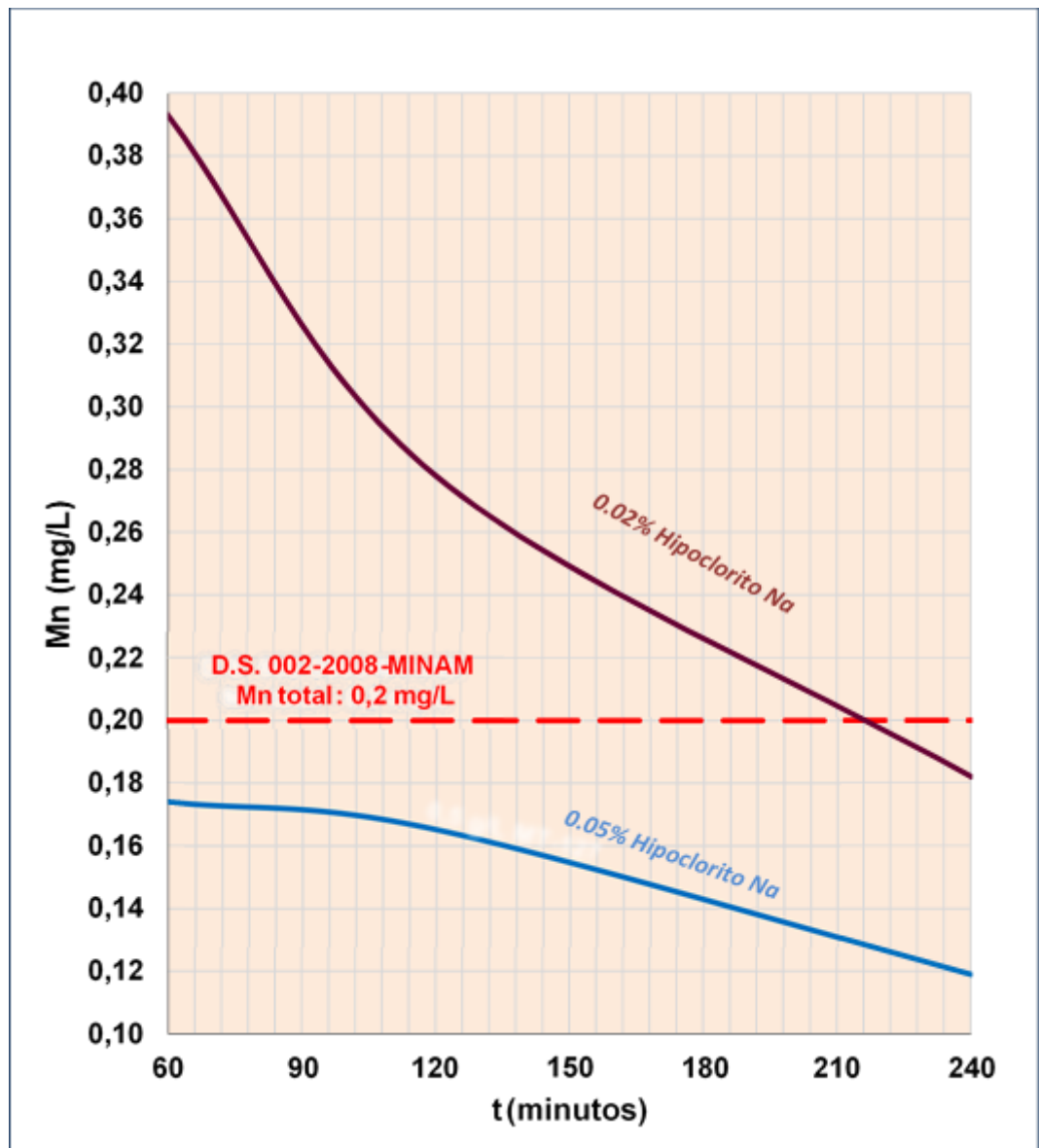
Como se puede apreciar en la tabla N° 14, los resultados de las pruebas indican que la dosificación o cantidades añadidas del agente oxidante de 1.0 mg/L en muestras procesadas señalan una mayor eficacia en la remoción del ion manganeso  $Mn^{+2}$ .

Los resultados expresados en concentración del elemento base (ion manganeso) en muestras decantadas, y dosis o cantidades añadidas de hipoclorito a .002 % de concentración, ver la tabla N° 15, indican una mayor eficacia del hipoclorito de sodio para la remoción de manganeso.

Asimismo, dentro de esta etapa de pruebas, se realizaron pruebas para determinar la concentración óptima del agente oxidante que en este caso de

estudio es el hipoclorito de sodio; en la cual se logra la mayor mitigación o reducción del ion manganeso. Como puede observarse en el siguiente gráfico N° 8, la concentración óptima obtenida es de 0.05%

Gráfico N° 8.





## CAPÍTULO V:

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

a) Se ha definido como factor de escalamiento de las pruebas de laboratorio a planta industrial un valor de 1 a 2. Por lo que el valor mínimo de contenido de manganeso para afirmar que una prueba de laboratorio sea satisfactoria es de 0.1 mg/L; siendo 0.2 mg/L el valor establecido en el ECA 004-2017, agua de categoría 3 (Bebida para Animales y riego de Vegetales).

b) Debido a que las características físicas y químicas de las muestras obtenidas en el proceso de muestreo en la Unidad Minera Volcán S.A.A. y utilizadas en las pruebas de laboratorio para la elaboración de la tesis de investigación; son uniformes y ofrecen ligera variabilidad en sus contenidos de acidez (pH) y concentración del ion manganeso; se concluye que son muestras representativas con las cuales, se puede escalar a planta industrial, la que actualmente está en operación en su unidad minera en Yauli-La Oroya.

c) De acuerdo a los resultados de las pruebas, el proceso y método utilizado, ha determinado la eficacia del agente oxidante hipoclorito de sodio, ya que remueve el  $Mn^{+2}$  en 99.89% hasta un pH 8.5 y luego con un 99.96% hasta un pH de 8.8.

También, desde una concentración inicial entre 100 y 250 mg/L, hasta una concentración final de 0.085 mg/L, determinándose la concentración y cantidad óptima añadida de 0.05% y 1.0 mg/L respectivamente y un pH óptimo en el rango 8.5 a 8.8.

d) Los resultados de las pruebas de laboratorio realizados entre diciembre del 2019 y marzo del 2020, siguiendo la metodología comentada y presentada en

los capítulos anteriores de la tesis muestran que lo más conveniente es tratar el agua de mina con adición del relave fino más ajuste de pH con lechada de cal hasta valores comprendidos entre 8.5 a 8.8. Cabe indicar, que con la adición de relave fino se logra un pH hasta 5.7, por lo tanto, deberá adicionarse lechada de cal para elevar el pH hasta el valor recomendado.

e) Las tendencias observadas, a partir de los resultados de las pruebas de laboratorio siguiendo la metodología empleada en la tesis: agua ácida de mina + pulpa de relave fino + ajuste de pH con lechada de cal + dosificación de la cantidad adecuada del agente oxidante hipoclorito de sodio (mg/L), con la concentración (%) determinada en las pruebas; se comentan a continuación:

- Para la remoción química del ion manganeso y cumplir con el ECA 2017 (Estándar de Calidad Ambiental), es conveniente tratar la mezcla agua de ácida de mina con relave fino, con un agente oxidante (hipoclorito de sodio) a pH mayor igual a 8.5 hasta pH 9 inclusive, con aireación del ambiente y agitación de 20 minutos.
- El consumo de cal (>70% de CaO) está en el orden de 0.84 g/L de solución neutralizada, dependiendo del pH del agua de mina, que en el caso de la investigación está en el rango de 3.5 – 5.5. Es importante que la cal sea adecuadamente tamizada para minimizar la presencia de granos que limiten la reacción.
- Para la remoción física del ion manganeso y cumplir con el ECA 2017, se empleará la misma disposición de lodos que actualmente está realizándose en la planta de neutralización con los metales pesados abatidos (lodos bombeados a la presa de relaves).

f) Los resultados de laboratorio muestran claramente la efectividad para

remover el ion manganeso usando los reactores actuales en la planta de neutralización, con agitación mecánica y con aireación normal.

g) Los resultados de las pruebas de laboratorio para determinar la eficacia del hipoclorito de sodio muestran que es el adecuado, tanto por su eficacia en la remoción del ion manganeso, así como, por su bajo costo y mayor disponibilidad, que al usar otro posible agente reductor.

h) Al remover el ion manganeso hasta niveles por debajo del LMP normado por el MINAM; el agua que se vierte al cuerpo receptor que en este caso es el rio Yauli, está dentro de la categoría 3, que se refiere a la calidad del agua. Esto, da lugar a que el rio en mención, cada vez el agua que discurre por ella está siendo mejorada y recuperada para el bien del ecosistema y del planeta en general.

## 5.2 Recomendaciones

a) Utilizar como factor de escalamiento de las pruebas de laboratorio a planta industrial un valor de 2. Como se sabe, luego de las pruebas de laboratorio debería continuarse a nivel industrial o sea en la planta de neutralización de agua ácida, que actualmente está operando en la unidad minera.

b) Las condiciones que se utilizaron para hacer un escalamiento a nivel industrial, se basaron en los resultados de reducción del contenido del ion manganeso de las muestras obtenidas; este factor de escalamiento contempla un margen de error del 25% con el cual garantiza que las concentraciones finales del ion manganeso estarán por debajo de 0.2 mg/L que es el LMP contemplada en la normativa legal dispuesta por el MINAM..

c) Para implementar el uso de la metodología de la investigación en la planta

de neutralización actual, no será necesario, implementar nuevos reactores o equipos, se usarán los actuales, no habrá prácticamente modificación alguna, salvo el nuevo punto o puntos donde se adicionará el agente oxidante.

d) La investigación llevada a cabo, podrá ser aplicada en otras unidades mineras u otras unidades de producción donde se generen aguas ácidas; teniendo en consideración, que siempre será necesario, realizar pruebas a nivel de laboratorio para llevar a cabo ajustes a los valores encontrados, pero ya se tiene el punto de partida para seguir mejorando la aplicación del método empleado.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Aziz, H., Smith, P.** (1992). The Influence of pH And Coarse Media on Manganese precipitation from water. *Wat. Res.* 1,992. 26, p.p. 853 – 855.
2. **Pearce, D., Turner, F.** (1995), *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*, Colegio de Economistas de Madrid –Celeste Ediciones, 42-43, Madrid.
3. **Martínez Becardino, C.** (2006). *Estadística Básica Aplicada*, 2006 pág. 71.
4. **Burbano L, Sánchez L.** Remoción de hierro y manganeso por oxidación – filtración, instituto Cinara, universidad del valle seminario internacional: visión integral en el mejoramiento de la calidad del agua pág. 4.
5. **Castañeda Castro, José Guillermo.** (2004). Reducción de hierro y manganeso y detergente en el agua por medio de arena verde de manganeso y carbón activado.
6. **Jurado M, Nicolas S, Martínez B, Anderson Faver.** (2012). Evaluación de la remoción del contenido de sales de sales de hierro y manganeso en aguas de la universidad Mariana a partir de un tratamiento por torres de aireación dinámica de bandejas.
7. **Cordón M., Octavio Avendaño F.** (1999). Aplicación de Estudios de Laboratorio al Diseño de Plantas de Tratamiento de Agua. XXI congreso centroamericano y nacional de ingeniería sanitaria y ambiental Guatemala.
8. **V. Petkova S.** Remoción de Hierro y Manganeso por medios de contacto no convencionales instituto mexicano de tecnología del agua, Cuernavaca, Morelos, cp. 62550 pág.
9. **Manual de Laboratorio Químico.** Determinación de Hierro y Manganeso, Universidad Mariana pág. 15-17.
10. **Romero R., Jairo A.** (2000). Purificación de agua. Editorial. Escuela Colombiana de Ingeniería. pág. (33-36).

11. **Schippers, J. C.** Water quality and treatment. Holanda, THDelft, 1985.
12. **Castro, R. y Reiff, F.** Water quality in Latin America: Balancing the microbial and chemical risk in drinking water disinfection. Buenos Aires, ILSI Argentina, OPS/OMS, 1996.
13. **Pacini V., Ingallinella A. M., Sanguinetti G.** “Nuevos Avances en la Remoción Biológica de Fe y Mn”. 2003.
14. **Grupo Heurema.** “Manganeso y magnesio: dos metales con el mismo nombre. Educación secundaria: Enseñanza de la Física y la Química”.
15. **OMS.** (2003). *Manganeso*. Recuperado el 19 de 05 de 2017, de Generalidades: [http://who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_12.pdf?ua=1](http://who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_12.pdf?ua=1)
16. **Rodríguez, M., Sales, M. M., Rodríguez, A., & M, A.** (2010). *Hierro y Manganeso en Aguas Subterráneas*. Recuperado el 15 de 07 de 2017, de: <http://www.exactas.unca.edu.ar/revista/v160/pdf/ciencia16-3.pdf>
17. **Metcalf, B. M.** 1998. “Pressure Filtration for Iron & Manganese Removal,” Proceedings of the New England Water Works Association Conference and Exhibition. Marlborough, MA.
18. **Robinson, R. B.** 1998. “State-of the-Art: Iron and Manganese Control,” Proceedings of the New England Water Works Association Conference and Exhibition. Marlborough, MA.
19. **González, R. y Ruelas, J.** “Distribución, Concentración y Origen de Hierro y Manganeso en las Aguas Superficiales y Subterráneas de la Cuenca Alta y Media del río Sonora, Noroeste de México”. Recuperado el 15 de marzo de 2012, de: [http://www.uaemex.mx/Red\\_Ambientales/docs/memorias/Extenso/CA/EO/CAO-23.pdf](http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/CA/EO/CAO-23.pdf)

**20. Dvorak, B. y otros.** “Drinking Water: Iron and Manganese”, Nebraska: University of

Nebraska. Recuperado el 15 de marzo de 2012, de:

<http://www.ianrpubs.unl.edu/live/g1714/build/g1714.pdf>

**21. Ellis, D. y Bouchard, C.** (2000). “Iron and Manganese Removal”. Laval University:

Quebec, Cánada.

## ANEXOS

### Anexo 1. Disposiciones Legales

#### 1.1 Decreto Supremo 010-2010-MINAM

**LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES  
PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE  
ACTIVIDADES MINERO - METALURGICAS**

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



## 1.2 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para el Agua

### CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
<b>Fisicoquímicos</b>		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	<2 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	10
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	$\geq$ 4
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
<b>Inorgánicos</b>		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,06
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6 <sup>+</sup> )	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Niquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
<b>Orgánicos</b>		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
<b>Pesticidas</b>		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2 )	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9 )	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004

Anexo 2. Fotos de las Tomas de Muestras y de las Pruebas de Laboratorio



Foto 1. Rio Yauli aguas arriba



Foto 2. Rio Yauli aguas abajo



Foto 3. Cabeza de pruebas: agua de bocamina 97.8% + relave fino al 2.2%

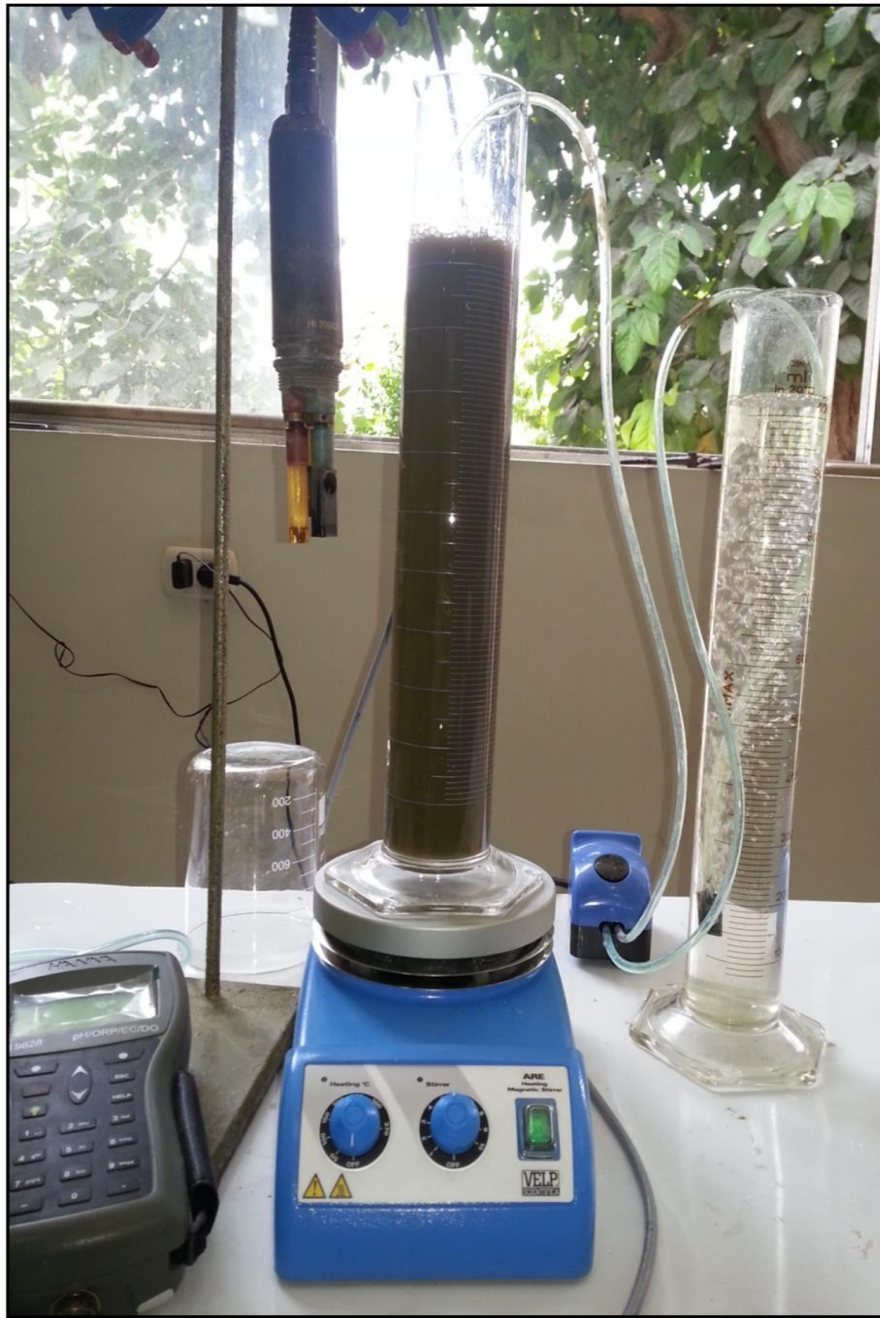
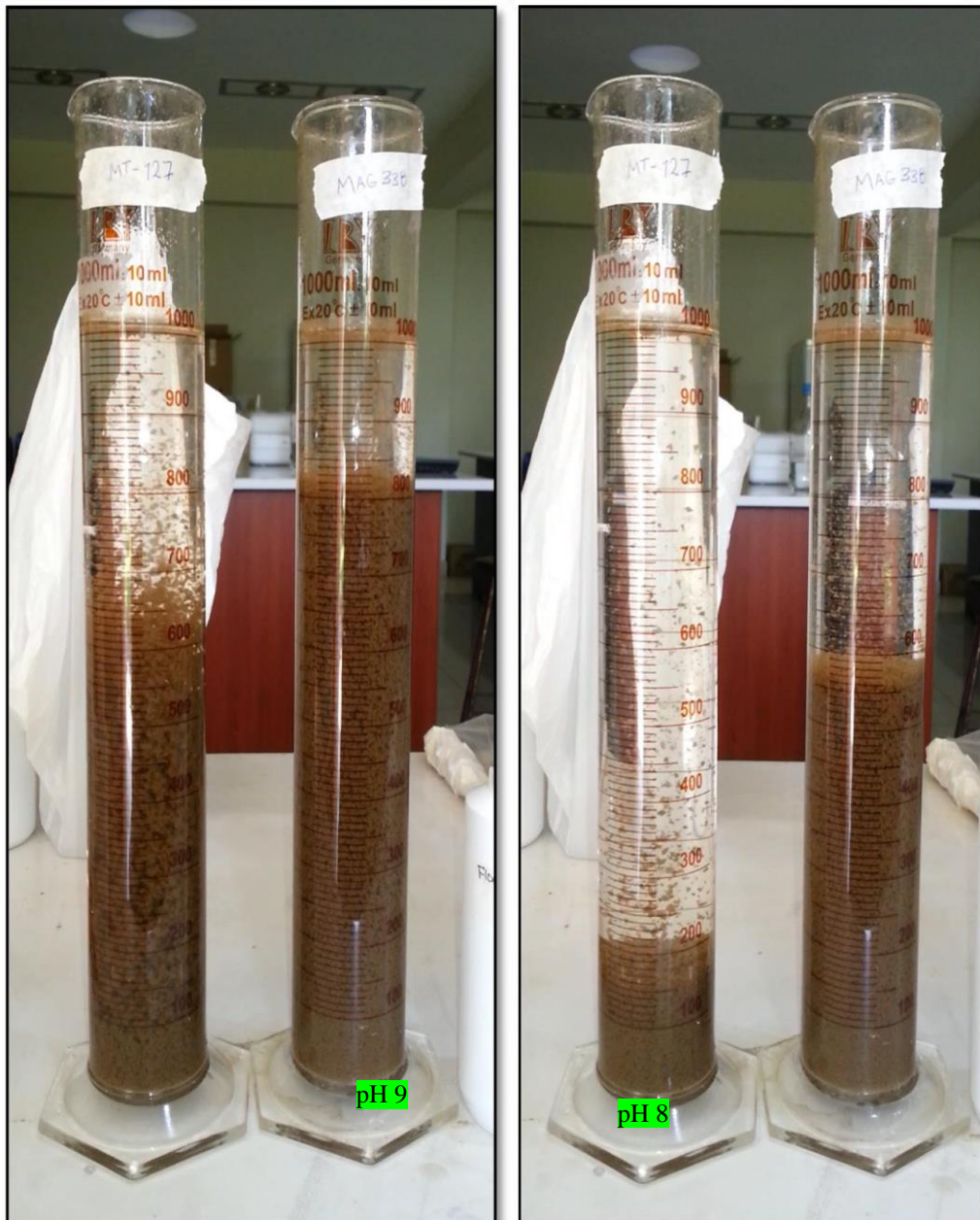


Foto 4. Procedimiento del tratamiento del agua de mina + relave fino durante las pruebas de neutralización, con aireación normal y agitación.





Fecha: abril 2020

Foto 5. Comparación de la formación de óxidos de Mn, tratando el agua ácida de mina + relave fino, a pH 8.5, con el hipoclorito de sodio (probeta del lado izquierdo) y a pH 8,0 (probeta del lado derecho), a la misma dosis de 1.0 mg/L.

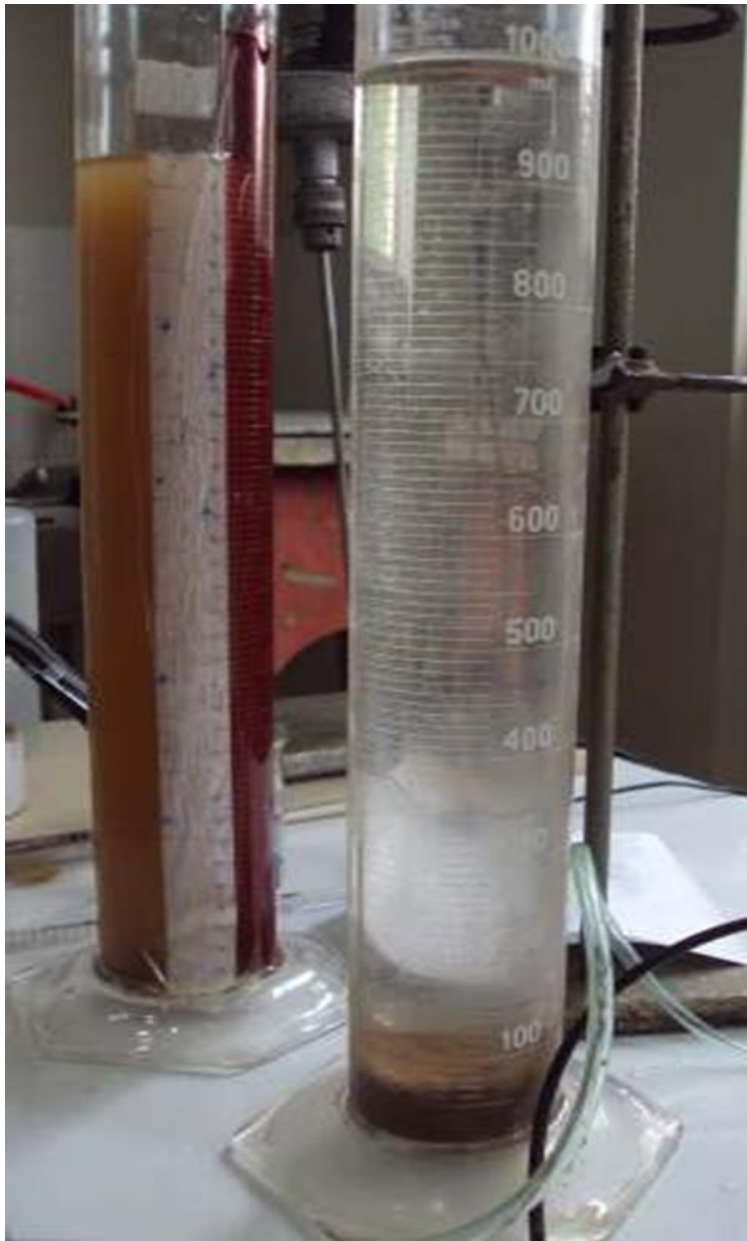


Foto 6. Agua de mina de Bocamina sin tratar (imagen izquierda) + Neutralización con cal y oxidación con hipoclorito de sodio por 20 min a pH 8.5.

### Anexo 3. Resumen de los Resultados de las Pruebas del Grupo A y B

3.1 Resumen de los resultados de las pruebas de laboratorio del grupo A

	Prueba Nº	Procedimiento	pH <sub>0</sub>	Pre-aireación	Cal de Volcan	Aireación	pH <sub>f</sub>	Agente oxidante al 0,02 % - 0,5 mg/L	Nº Muestra	Tratamiento de la muestra		Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Zn (mg/L)	As (mg/L)
				t (min)	g/L	t (min)				Filtración	Preservada (con HNO <sub>3</sub> )				
		Agua de mina del túnel Victoria		-	-	-	-	-	CA-00A	NO	SI	136.5	180.8	116.3	0.3678
Cabeza	0	Agua de mina +relave fino	5 a 6	-	-	-	-	-	CA-00B	NO	SI	256.6	506.9	127.6	3.8529
Pruebas de neutralización	1 A	Cal hasta pH 8.0 con aireación		-	0.5936*	20	8.0	Hipoclorito Na	CA-02 A	SI	SI	3.153	0.0142	0.0225	< 0.0092
	2 A	Cal hasta pH 8.0 con aireación		-	0.6021*	20	8.0	Hipoclorito Na	CA-04 A	SI	SI	2.891	0.1883	0.1076	< 0.0092
	3 A	Cal hasta pH 8.0 con aireación		-	0.7025*	20	8.0	Hipoclorito Na	CA-06	SI	SI	0.259	0.0610	0.0627	< 0.0092
	4 A	Aireación previa + cal hasta pH 8.0 con aireación		15	0.6340*	20	8.0	Hipoclorito Na	CA-11	SI	SI	2.098	0.0126	0.0185	< 0.0092
	5 A	Cal hasta pH 8.5 con aireación		-	0.7092*	20	8.5	Hipoclorito Na	CA-01 A	SI	SI	0.683	0.5198	0.0942	0.0156
	6 A	Cal hasta pH 8.5 con aireación		-	0.7244*	20	8.5	Hipoclorito Na	CA-02	SI	SI	0.130	0.1091	0.036	< 0.0092
	7 A	Cal hasta pH 8.5 con aireación		-	0.7799*	20	8.5	Hipoclorito Na	CA-05 A	SI	SI	0.105	0.1123	0.043	< 0.0092
	8 A	Cal hasta pH 8.5 sin aireación.con agitación		-	0.6862*	-	8.5	Hipoclorito Na	CA-07	SI	SI	0.163	0.0556	0.0451	< 0.0092
	9 A	Aireación previa + cal hasta pH 8.5 con aireación		15	0.7100*	20	8.5	Hipoclorito Na	CA-09	SI	SI	0.064	0.0354	0.0260	< 0.0092
	10 A	Cal hasta pH 8.8 con aireación		-	0.9109*	20	8.8	Hipoclorito Na	CA-12	SI	SI	0.029	0.0336	0.0325	< 0.0092
	11 A	Cal hasta pH 8.8 con aireación		-	0.9347*	20	8.8	Hipoclorito Na	CA-13	SI	SI	0.020	0.0339	0.0251	< 0.0092
	12 A	Cal hasta pH 8.8 con aireación		-	0.9669 *	20	8.8	Hipoclorito Na	CA-14	SI	SI	0.021	0.0389	0.0331	< 0.0092
	13 A	Aireación previa + cal hasta pH 8.8 con aireación		15	0.8716*	20	8.8	Hipoclorito Na	CA-15	SI	SI	0.030	0.0270	0.0358	0.0095
	14 A	Cal hasta pH 9.0 sin aireación y conagitación		-	0.9499*	-	9.0	Hipoclorito Na	CA-08	SI	SI	0.042	0.0485	0.0533	< 0.0092
	15 A	Aireación previa + cal hasta pH 9.0 con aireación		15	0.9631*	20	9.0	Hipoclorito Na	CA-10	SI	SI	0.036	0.0427	0.0531	< 0.0092
		D.S. 010-2010-MINAM (metales totales)								LMP		1	2.0	1.5	0.1
		D.S. 002-2008-MINAM (Cat 3 RV/BA)								ECA		0.2	1.0	2.0	0.05



3.2 Resumen de los resultados de las pruebas de laboratorio del grupo B

	Prueba Nº	Procedimiento	pH <sub>0</sub>	Cal de volcán	Aireación	pH <sub>f</sub>	Agente oxidante: (%) y (mg/L)	Nº Muestra	Tratamiento de muestra			Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	As (mg/L)
				g/L	t(min)				Sedimentación(min)	Filtración	Preservada (con HNO <sub>3</sub> )			
selección del oxidante	1 B	Cal hasta pH 10 con aireación				8.0	Hipoclorito Na 0.02% 0.5 mg/L	CA-16	60	NO	SI	0.393	0.3875	< 0.0092
								CA-17	120	NO	SI	0.278	0.2774	< 0.0092
								CA-18	240	NO	SI	0.182	0.1743	0.0330
	2 B	Cal hasta pH 10 con aireación				8.0	Hipoclorito Na 0.03% 0.5 mg/L	CA-19	60	NO	SI	0.174	0.1446	< 0.0092
								CA-21	240	NO	SI	0.119	0.0799	< 0.0092
	selección de la dosis del oxidante	3 B	Cal hasta pH 10.5 con aireación		0.8530**		8.5	Hipoclorito Na 0.03% 0.8 mg/L	CA-22	60	NO	SI	0.218	0.4135
CA-23									120	NO	SI	0.143	0.3142	< 0.0092
CA-24									180	NO	SI	0.125	0.3272	< 0.0092
CA-25									240	NO	SI	0.110	0.2543	< 0.0092
4 B		Cal hasta pH 10.5 con aireación		0.8530**		8.8	Hipoclorito Na 0.05% 1.0 mg/L	CA-26	60	NO	SI	0.213	0.3091	<0.0092
								CA-27	120	NO	SI	0.132	0.2207	<0.0092
								CA-28	180	NO	SI	0.165	0.2142	<0.0092
								CA-29	240	NO	SI	0.079	0.1330	<0.0092
5 B		Cal hasta pH 10.5 con aireación		0.8530**		9.0	Hipoclorito Na 0.08% 1.5 mg/L	CA-30	60	NO	SI	0.134	0.2445	<0.0092
								CA-31	120	NO	SI	0.102	0.2386	<0.0092
								CA-32	180	NO	SI	0.092	0.1999	<0.0092
			D.S. 010-2010-MINAM(metales totales)							LMP		!	2.0	0.1
			D.S. 002-2008-MINAM(Cat 3 RV/BA)							ECA		0.2	1.0	0.05

