



Universidad  
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Efecto de la dosificación de lechada de cal  
en la remoción del manganeso del agua de  
mina de la UM Huarón 2018**

**Yeny de la Cruz Lima**

Huancayo, 2019

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniera Ambiental



Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

## **ASESOR**

Ing. Edwin Paucar Palomino

## **AGRADECIMIENTO**

Primero agradecer a Dios por guiarme y darme las fuerzas a seguir adelante ante cualquier adversidad, a las personas que me apoyaron para poder realizar mi trabajo de investigación y a mi Asesor Ing. Edwin Paucar Palomino.

Así mismo al laboratorio Bureau Veritas del Perú S.A quienes realizaron el análisis de las muestras y sin dejar a lado a mis docentes de la Universidad Continental por los conocimientos brindados y formar profesionales a sus estudiantes.

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermanas por su apoyo incondicional durante mi formación académica y por ser mi motivación de seguir desarrollándome profesionalmente.

## ÍNDICE

|  |             |
|--|-------------|
| <b>PORTADA</b> .....   | <b>I</b>    |
| <b>ASESOR</b> .....  | <b>II</b>   |
| <b>AGRADECIMIENTO</b> .....  | <b>III</b>  |
| <b>DEDICATORIA</b> .....   | <b>IV</b>   |
| <b>ÍNDICE</b> .....  | <b>V</b>    |
| <b>LISTA DE TABLAS</b> .....   | <b>VII</b>  |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> .....  | <b>VIII</b> |
| <b>RESUMEN</b> .....   | <b>IX</b>   |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | <b>X</b>    |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....  | <b>XI</b>   |
| <b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....  | <b>13</b>   |
| 1.1. Planteamiento y formulación del problema .....  | 13          |
| 1.1.1. Planteamiento del problema.....   | 13          |
| 1.1.2. Formulación del problema .....  | 21          |
| 1.2. Objetivos.....  | 21          |
| 1.2.1. Objetivo General.....   | 21          |
| 1.2.2. Objetivos específicos.....  | 21          |
| 1.3. Justificación e importancia .....   | 22          |
| 1.3.1. Justificación .....   | 22          |
| 1.3.2. Importancia.....  | 23          |
| 1.4. Hipótesis y variables.....  | 23          |
| 1.4.1. Hipótesis General .....   | 23          |
| 1.4.2. Hipótesis Específica .....  | 23          |
| 1.4.3. Variables.....  | 24          |
| 1.4.4. Operacionalización de variables .....   | 25          |
| <b>CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO</b> .....  | <b>27</b>   |
| 2.1. Antecedentes del problema.....  | 27          |
| 2.1.1. Antecedentes de trabajos de investigación.....  | 27          |
| 2.1.2. Antecedentes de artículos científicos y estudios. ....  | 30          |
| 2.2. Bases teóricas .....  | 31          |
| 2.2.1. Fundamentos teóricos.....   | 31          |
| 2.2.2. Fundamentos metodológicos .....   | 44          |
| 2.3. Definición de términos básicos.....   | 47          |
| <b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA</b> .....  | <b>50</b>   |
| 3.1. Método, y alcance de la investigación.....  | 50          |
| 3.1.1. Método de investigación.....  | 50          |
| 3.1.2. Tipo de investigación.....  | 50          |
| 3.1.3. Nivel de investigación.....   | 51          |
| 3.2. Diseño de la investigación.....   | 51          |
| 3.3. Población y muestra .....   | 52          |
| 3.3.1. Población.....  | 52          |
| 3.3.2. Muestra.....  | 52          |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....   | 53          |
| 3.4.1. Técnica de recolección de datos.....  | 53          |
| 3.4.2. Instrumentos de recolección de datos.....   | 56          |
| 3.4.3. Técnica de análisis y procesamiento de datos .....  | 56          |
| <b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....  | <b>58</b>   |
| 4.1. Resultados de la investigación.....   | 58          |
| 4.1.1. Resultados de la caracterización del agua de mina.....  | 58          |
| 4.1.2. Resultados de la Prueba de Jarras (sin y con dosificación de lechada de cal<br>agua de mina)..... | 59          |
| 4.1.3. Comparación de los resultados.....  | 61          |

|        |   |           |
|--------|---|-----------|
| 4.1.4. | Resultados de la relación del nivel de acidez (pH) y la eficiencia de remoción del manganeso..... | 61        |
| 4.1.5. | Resultados de la dosis de cal en cada jarra.....  | 62        |
| 4.1.6. | Prueba de hipótesis.....  | 64        |
| 4.2.   | Discusión de resultados .....   | 71        |
|        | <b>CONCLUSIONES.....</b>  | <b>73</b> |
|        | <b>RECOMENDACIONES.....</b>   | <b>74</b> |
|        | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>  | <b>75</b> |
|        | <b>ANEXOS .....</b>   | <b>79</b> |

## LISTA DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 01: Clasificaciones de las aguas residuales de mina (White, 1998).....   | 32 |
| Tabla 02: Clasificaciones de las Drenajes de Mina (Morin y Hutt, 2001) .....   | 32 |
| Tabla 03: Reactivos químicos neutralizantes.....   | 38 |
| Tabla 04: Agentes de precipitación para eliminación de iones metálicos pesados.....  | 39 |
| Tabla 05: Estándar de Calidad Ambiental para agua .....  | 41 |
| Tabla 06: Límites Máximos Permisibles.....   | 42 |
| Tabla 07: Código de las muestras en las Jarras.....  | 52 |
| Tabla 08: Equipos, materiales y reactivos usados en el experimento .....   | 56 |
| Tabla 09: Caracterización del agua de mina en metales pesados totales (efluente tratado). .....  | 58 |
| Tabla 10: Concentración de Manganeso y pH en el agua de mina sin dosis de lechada de cal ....  | 59 |
| Tabla 11: Concentración de Manganeso y pH en el agua de mina tratada con diferentes dosis de lechada de cal. ....                            | 60 |
| Tabla 12: Comparación de los resultados obtenidos con normas internacionales.....  | 61 |
| Tabla 13: Relación de nivel de acidez (pH) y Eficiencia de remoción del manganeso con dosificación de lechada de cal (diferentes dosis)..... | 62 |
| Tabla 14: Datos para la prueba de hipótesis general .....  | 64 |
| Tabla 15: Prueba de normalidad de la dosis de cal y concentración removida de manganeso.....   | 65 |
| Tabla 16: Prueba de t de Student para muestras relacionadas para la hipótesis general .....  | 66 |
| Tabla 17: Valores Críticos de t de Student .....   | 66 |
| Tabla 18: Datos para la prueba de hipótesis específica .....   | 67 |
| Tabla 19: Prueba de normalidad del Manganeso postest y del pH .....  | 68 |
| Tabla 20: Prueba correlacional de Pearson para la hipótesis específica .....   | 69 |
| Tabla 21: Valores críticos del coeficiente de correlación r de Pearson .....   | 69 |



## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 01: Tanque de preparación .....  | 15 |
| Figura 02: Tanque de dosificación .....   | 15 |
| Figura 03: Tanque de preparación del floculante.....  | 16 |
| Figura 04: Pozas de sedimentación .....   | 17 |
| Figura 05: Canal de descarga .....  | 18 |
| Figura 06: Diagrama de flujo de la Planta de Tratamiento de Aguas de Mina - San José .....                | 18 |
| Figura 07: Toxicidad del manganeso en las hojas de las plantas .....                                      | 20 |
| Figura 08: Esquema de proceso HDS (Lodos de alta densidad).....   | 28 |
| Figura 09: Diagrama de Pourbaix para el manganeso. ....   | 35 |
| Figura 10: Diagrama del proceso de tratamiento mediante precipitación química.....                        | 39 |
| Figura 11: Límites Máximos Permisibles-Bhutan.....  | 42 |
| Figura 12: Límites Máximos Permisibles –Chile .....   | 43 |
| Figura 13: Límites de descarga de efluentes mineros – U.S. ....   | 43 |
| Figura 14: Límite para la descarga de efluentes industriales – Ecuador .....                              | 44 |
| Figura 15: Prueba de Jarras con el agua de mina cruda.....  | 54 |
| Figura 16: Prueba de Jarras agregando lechada de cal. ....  | 54 |
| Figura 17: Prueba de Jarras agregando floculante MT 0665. ....  | 55 |
| Figura 18: Sedimentación de los flóculos en cada jarra. ....  | 55 |
| Figura 19: Relación de pH y dosis de cal.....   | 63 |
| Figura 20: Diagrama de dispersión de la dosis de cal y concentración removida de manganeso ..             | 65 |
| Figura 21: Región crítica de la prueba t de Student de la hipótesis general .....                         | 67 |
| Figura 22: Diagrama de dispersión del nivel de acidez (pH) y eficiencia de remoción del<br>manganeso..... | 68 |
| Figura 23: Región crítica de la prueba correlacional de Pearson de la hipótesis específica.....           | 70 |

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realizó la dosificación de lechada de cal en diferentes dosis al agua de mina de la UM Huarón y fueron analizados con los objetivos de (i) determinar el efecto de la dosificación de lechada de cal en la remoción del manganeso (ii) determinar la concentración del manganeso y el pH presente en el agua de mina de la UM Huarón 2018, antes y después de la dosificación de lechada de cal y (iii) determinar la relación que tiene el nivel de acidez (pH) con la remoción del manganeso en el agua de mina de la UM Huarón 2018. Métodos: método científico, inductivo-analítico, de tipo aplicada y nivel explicativo, de diseño pre experimental de grupo único con pretest y postest. El método usado para la remoción del manganeso fue por precipitación química mediante la adición de lechada de cal; para ello se realizó la caracterización del afluente minero (aguas de mina), los experimentos en pruebas de jarras, y finalmente se procedió al análisis de las muestras en el laboratorio Bureau Veritas del Perú S.A. Resultados: El método usado fue el óptimo puesto que se logró la remoción de Mn, dando como resultados de la concentración del manganeso en el agua de mina sin tratar de 19.4748 mg/L y en el efluente tratado fue 0.0833 mg/L. En conclusión: la dosificación de lechada de cal tiene efectos positivos en la remoción del manganeso del agua de mina de la UM Huarón 2018, logrando remover un 99.57% de Manganeso, considerado un pH de 10.5 y dosis de lechada de cal de 3.2 mL (equivale a 107.84 mg/L de cal). Así mismo el nivel de acidez (pH) está estrictamente relacionado con la eficiencia de remoción del manganeso y/o metales pesados.

Palabras Claves: lechada de cal, remoción, manganeso, pH, aguas de mina y test de jarras.

## ABSTRACT

In the present work of investigation the dosing of lime slurry in different doses to the water of mine of the UM Huarón was carried out and they were analyzed with the objectives of

(i) determine the effect of the dosage of lime slurry in the removal of manganese (ii) determine the concentration of manganese and the pH present in the mine water of UM Huarón 2018, before and after the dosing of lime slurry and (iii) determine the relationship between the level of acidity (pH) and the removal of manganese in the mine water at UM Huarón 2018. Methods: scientific method, inductive-analytical, applied type and explanatory level, pre-experimental design of a single group with pretest and posttest. The method used for the removal of manganese was by chemical precipitation by the addition of lime slurry; To this end, the characterization of the mining tributary (mine waters) and the experiments in pitcher tests were carried out and finally the samples were analyzed in the Bureau Veritas del Perú S.A. Results: The method used was the optimum since the removal of Mn was achieved, giving as results the concentration of manganese in the untreated mine water was 19.4748mg/L and in the treated effluent it was 0.0833 mg/L. In conclusion: the dosing of lime slurry has positive effects on the removal of manganese from the mine water of UM Huarón 2018, achieving the removal of 99.57% Manganese, considered a pH of 10.5 and a dose of lime slurry of 3.2mL (equivalent to 107.84 mg/L of lime). Likewise, the level of acidity (pH) is strictly related to the removal efficiency of manganese and / or heavy metals.

Key words: lime slurry, removal, manganese, pH, mine water and jar test.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el Perú es un país minero, que contribuye el desarrollo del país y es uno de los principales motores económicos a nivel mundial. Sin embargo, las actividades mineras generan impactos positivos y negativos, ya que alteran la calidad del agua, suelo, aire y otros componentes ambientales, poniendo en peligro a la población cercana así como a la flora y fauna (1).

Uno de los principales problemas en la actividad minera es la generación de aguas residuales de mina (drenaje ácido) y su vertimiento a un cuerpo receptor sin ser tratadas. Estos drenajes son tóxicos ya que contienen metales pesados y constituyentes orgánicos solubles e insolubles (2).

Pan American Silver Huarón es una unidad minera formal que produce concentrados de plomo, cobre y zinc con altos contenidos de plata y comprometido a proteger el Ambiente, la Seguridad y Salud de todas las personas que trabajan en nombre o para la organización. Así mismo cuenta con una Planta de tratamiento de agua de mina (PTAM) San José, el cual tiene un sistema de dosificación de cal y floculante automatizado, el tratamiento es por pozas de sedimentación que se encuentra operando las 24 horas del día. Luego es vertido al río San José cumpliendo con los valores establecidos en los Límites Máximos permisibles (LPM) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-MINAM; pero en vista que se tiene dentro de la política de la unidad minera Huarón de mejorar continuamente sus procesos, a la cual nos ayuda a cumplir con las exigencias de LMP para la descarga del manganeso en los efluentes líquidos de Actividades Mineros – Metalúrgicas y a las exigencias internacionales (3) se realizó la presente investigación. Puesto que el manganeso es un metal tóxico al ser vertido a un cuerpo receptor en altas concentraciones y también es uno de los metales pesados más difíciles de eliminar o remover en el agua debido a su alta solubilidad en un amplio rango de pH, si se logra un pH superior a 8.5 se puede lograr eliminar el 99.9% de manganeso (4). A partir de lo mencionado anteriormente se formuló el problema de investigación: ¿Cuál es el efecto de la dosificación de lechada de cal en la remoción del manganeso del agua de mina de la UM Huarón 2018?

La presente investigación contiene cuatro capítulos; el Capítulo I es el planteamiento de estudio, donde se formuló el problema de investigación, los objetivos, las hipótesis y la descripción de las variables.

En el Capítulo II se presenta el marco teórico; con los antecedentes adecuados al tema investigación (tesis de investigación y artículos científicos), así mismo se da a conocer las

bases teóricas dentro de ellos los fundamentos teóricos y metodológicos; y finalmente la definición de términos básicos.

En el Capítulo III se presenta la metodología del estudio, se usó el método general científico, inductivo-analítico, de tipo aplicado, nivel explicativo y diseño pre experimental. Así mismo señalamos la delimitación de la población y muestra; también las técnicas e instrumentos de recolección de datos, el análisis y procesamiento de los mismos.

En el Capítulo IV se presenta los resultados y su discusión, también la prueba de hipótesis (comprobación estadística), donde el agua de mina sin tratamiento se caracteriza por tener pH 7.96 y concentración de manganeso 19.47.48mg/L y tras realizar el experimento en pruebas de jarras con diferentes dosis de lechada de cal al 3.37% de peso-volumen al agua de mina: 0.4 mL, 1.0 mL, 2.2 mL, 3.0 mL y 3.2 mL; se logró remover el manganeso un 64.78% (6.85.83mg/L Mn), 74.80% (4.9074 mg/L Mn), 94.19% (1.1324 mg/L Mn), 97.66% (0.455<sup>o</sup> mg/L Mn) y 99.57% (0.0833 mg/L Mn) respectivamente.

Finalmente se llega a la conclusión que la dosificación de lechada de cal tiene efectos positivos en la remoción del manganeso en el agua de mina de la UM Huarón 2018, logrando remover el manganeso a un máximo de 99.57%.

La autora.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Desde los inicios de la civilización, los seres humanos utilizaron piedras, cerámicas y luego metales para su subsistencia. Con el tiempo, esta utilización de metales dio origen a la actividad minera, que hoy en día es uno de los principales motores económicos a nivel mundial (2).

En tal sentido como menciona el libro "Impacto de la minería en el Perú y alternativas al desarrollo" de Blanca Quesada: que gran parte del crecimiento peruano habría sido por la minería, ya que su subsuelo es de los más ricos del mundo, con amplias reservas aún por explotar. Perú actualmente es el segundo productor mundial de Plata, Cobre y Zinc y el sexto, de oro (5).

En los últimos tiempos, se ha generado conflictos sociales frente a las minerías a nivel internacional, nacional y local, debido a la generación de impactos ambientales negativos, sobre todo a las zonas aledañas donde se desarrollan las actividades mineras. Y uno de ellos es la generación de aguas residuales de mina (aguas ácidas o drenaje ácido) y su vertimiento a un cuerpo receptor sin ningún tratamiento (6). En el libro "Drenaje Ácido de Mina: Generación y Tratamiento" de Aduvire tenemos que "los drenajes ácidos son una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en el mundo porque este problema puede persistir durante décadas e incluso cientos de años una vez finalizado el ciclo productivo. Estos drenajes

son tóxicos en diversos grados para el hombre, la fauna y la vegetación debido a que contienen metales disueltos y constituyentes orgánicos solubles o insolubles” (2). Así mismo, desde que la minería fue la principal actividad económica, se ha constituido como una fuente de recursos para el desarrollo, sin embargo desde mediados del siglo pasado la humanidad ha empezado a pensar seriamente en el costo social, ambiental y de salud que generan la explotación y transformación de los recursos mineros, no sólo por destruir y alterar el medio ambiente, sino también por la generación de gran cantidad de desmontes, relaves, gases tóxicos, polvos, aguas ácidas y otros que destruyen los recursos naturales, también el deterioro de la salud y la inestabilidad emocional y social de las poblaciones que viven al entorno del trabajo minero (6).

La región Pasco es conocido como la capital minera del Perú, debido a sus yacimientos de plata, cobre, zinc y plomo; que actualmente en sus distritos como: Chaupimarca, Yanacancha, Simón Bolívar, Tinyahuarco, Huayllay y Yarusyacán, vienen operando doce empresas mineras y siete plantas de beneficio mineral, todas ellas generan impactos directos e indirectos para el medio ambiente y la vida humana de la región y de las zonas periféricas donde se desarrollan dichas actividades (7).

Actualmente una de las empresas mineras que se encuentra en Cerro de Pasco – (Huayllay) es la Unidad Minera Huarón; empresa minera formal, que cuenta con una planta de tratamiento de aguas de mina “San José” el cual tiene un sistema de dosificación de lechada de cal y floculante automatizado, siendo el tratamiento por pozas de sedimentación que se encuentra operando las 24 horas del día y consta principalmente de los siguientes procesos:

- **Planta de preparación y dosificación de lechada de cal**

Para la alimentación de la lechada de Cal para un caudal de agua de mina a tratar de 850-900 L/s con un rango de pH de 7.0 - 7.9, la dosificación de la Lechada de Cal está a razón de 1,67 L/s con una concentración de 3.3 – 3.7% en peso- volumen, la cal que se utiliza es el óxido de calcio de 77.5% de Ley (cal útil), con un peso por saco bigbag de 700 - 900 Kg aproximadamente ; y el Hipoclorito de Calcio de 65 – 70% de Ley.

Esta planta tiene dos tanques: Tanque de preparación de la lechada de cal con volumen de 10m<sup>3</sup> y el tanque de dosificación con un volumen de 20m<sup>3</sup>, y cuenta con un sensor automático.

**Figura 01: Tanque de preparación**



**Fuente: Propia**

**Figura 02: Tanque de dosificación**



**Fuente: Propia**

- **Planta de preparación y dosificación de floculante**

Se cuenta con una planta industrial de preparación de Floculante que tiene el diseño Italiano – Francés, que está ubicado próximo a las pozas de sedimentación, dicha



planta cuenta con 3 tanques; de preparación, maceración y dosificación. El objetivo del floculante es lograr aglomerar los sólidos en suspensión para posteriormente sedimentarlos en las pozas de sedimentación y clarificación.

**Figura 03: Tanque de preparación del floculante**



**Fuente: Propia**

- **Pozas de sedimentación y clarificación**

Se cuenta con 02 pozas de sedimentación y clarificación, ubicadas en la zona de San José.

La función que cumplen dentro de todo el proceso es el de separar el agua y los sólidos para luego poder formar sedimentos, esto ocurre al mezclarse la lechada de cal y los floculantes con el agua de mina, y de esta manera logran aglomerar los sólidos en

suspensión para posteriormente sedimentarse en las dos pozas que están en funcionamiento.

En las pozas de sedimentación están colocados los geotextiles cuya función es evitar el arrastre de sólidos y de los flóculos finos para que de esta manera pueda seguir cumpliendo con su proceso de tratamiento, y de la misma manera disminuyen la velocidad del flujo de agua que ingresa a las pozas.

Las pozas de sedimentación funcionan alternadamente y se cambia cuando se requiere.

**Figura 04: Pozas de sedimentación**



**Fuente: Propia**

- **Cambio de poza y limpieza de lodos**

El cambio de poza depende de la cantidad de sólidos que se encuentra en el agua y la limpieza se realiza con la finalidad de habilitar nuevamente la poza para seguir con el proceso de tratamiento. Los lodos son trasladados mediante cisternas hacia la Presa de Relave N° 05.

- **Descarga de efluentes al Río San José**

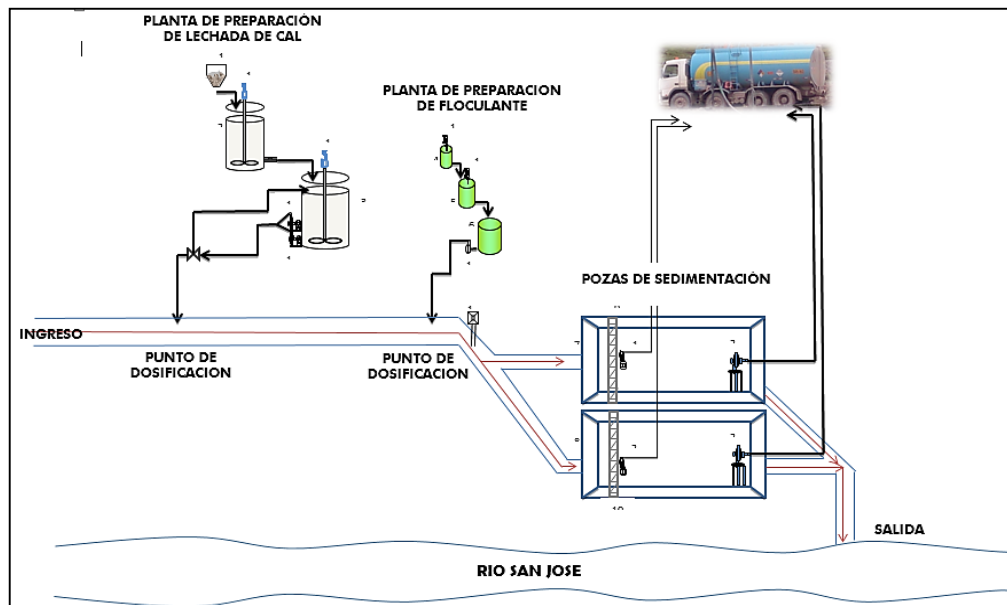
Una vez tratada el agua de mina es vertido al río San José de manera directa con un pH entre 6 – 9, sin alterar su naturaleza ni sus componentes físicos, químicos y microbiológicos. Ahí se encuentra un punto de monitoreo EF-03.

**Figura 05: Canal de descarga**



**Fuente: Propia**

**Figura 06: Diagrama de flujo de la Planta de Tratamiento de Aguas de Mina - San José**



Fuente: Elaboración propia

Cumpliendo de esta manera con los valores vigentes establecidos en los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-MINAM, pero el metal manganeso por ser uno de los parámetros de exigencia futura del LMP y tomando como referencia los valores de normas nacionales (0.2mg/L) e internacionales (0.5mg/L) de límites de descarga de efluentes mineros sobrepasan las concentraciones de manganeso presentes en el efluente de la unidad minera Huarón.

El manganeso es un metal pesado común, presente en el agua de mina, uno de los metales más difíciles de eliminar o remover debido a su alta solubilidad en un amplio rango de pH. En los últimos años, su eliminación representa un desafío importante para la industria minera (8). Siempre que la solución de pH sea superior a 8.5; se puede lograr una eliminación del 99,9% de manganeso con los iones de carbonato (4).

Según las investigaciones dadas por la Agencia de Sustancias Tóxicas Y Registro de Enfermedades y en el artículo del grupo de trabajo sobre el manganeso, el agua subterránea en Hinkley, presentaron que al ingerir agua con altos concentraciones de manganeso causa enfermedades mentales y emocionales, afectando a los órganos del sistema nervioso, con efectos neurológicos y presentado síntomas de enfermedad conocido como “manganismo” (9). Otros efectos que causa el manganeso en la salud



es en el tracto respiratorio y al cerebro, también puede causar Parkinson, bronquitis, esquizofrenia, depresión, debilidad de músculos, dolor de cabeza e insomnio. Así mismo en los animales a pruebas de laboratorio se ha demostrado que el manganeso puede causar desarrollo de tumores en animales, disturbancias en los pulmones, hígados, fallos en el desarrollo de los fetos y daños cerebrales (10).

En las plantas, el manganeso puede causar toxicidad y deficiencias. En concentraciones altamente tóxicas en el suelo puede causar inflamación de la pared celular, abrasamiento de hojas y puntos marrones en las hojas de las plantas (11).

**Figura 07: Toxicidad del manganeso en las hojas de las plantas**



**Fuente: PROMIX (12)**

Por tanto, se requiere un tratamiento de los efluentes mineros para disminuir las concentraciones de manganeso antes de ser vertido a un cuerpo receptor. Y una de las alternativas para remover el manganeso es mediante la dosificación de lechada de cal (por precipitación química), con la finalidad de que dichas aguas tratadas pueden ser reutilizadas en los mismos procesos de la actividad o como agua para riego de vías y áreas verdes o simplemente descargarlo al medio ambiente cumpliendo con las

normativas ambientales nacionales e internacionales vigentes y futuras. Y a nivel de empresa con la finalidad de cumplir con la política que es la mejora continua en sus procesos; y de esta manera contribuir con el cuidado y conservación del medio ambiente y lograr ser una minera sustentable. Por ello se formula el siguiente problema:

### **1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **a. Problema general**

- ¿Cuál es el efecto de la dosificación de lechada de cal en la remoción del manganeso del agua de mina de la UM Huarón 2018?

#### **b. Problemas específicos**

- ¿Cuál es la concentración del manganeso y el pH presente en el agua de mina de la UM Huarón 2018, antes y después de la dosificación de lechada de cal?
- ¿Qué relación tiene el nivel de acidez (pH) con la eficiencia de remoción del manganeso en el agua de mina de la UM Huarón 2018?

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

- Determinar el efecto de la dosificación de lechada de cal en la remoción del manganeso del agua de mina de la UM Huarón 2018.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la concentración del manganeso y el pH presente en el agua de mina de la UM Huarón 2018, antes y después de la dosificación de lechada de cal.
- Determinar la relación que tiene el nivel de acidez (pH) con la eficiencia de remoción del manganeso en el agua de mina de la UM Huarón 2018.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

### **1.3.1. JUSTIFICACIÓN**

La presente investigación muestra un problema ambiental que es el vertimiento de las aguas de mina de la UM Huarón al río San José con alta concentración de manganeso, que genera impactos negativos para el ambiente y la salud de la población, para lo cual se requiere de un método para reducir la concentración de dicho metal.

La remoción del manganeso en las aguas de mina permite cumplir con la política de la empresa que es la mejora continua de sus procesos. Por ello se realizó el presente trabajo de investigación con la finalidad de determinar a nivel de laboratorio el efecto de la dosificación de lechada de cal en la remoción del manganeso del agua de mina de la UM Huarón, dado que la lechada de cal es un reactivo alcalinizador, que eleva el pH y ayuda a precipitar los metales pesados. También los resultados obtenidos nos ayuda a determinar uno de los métodos adecuados para el cumplimiento de las futuras exigencias de Límites Máximos Permisibles para la descarga de manganeso y de las normas internacional como: Límite Máximo Permisible para la descarga de efluentes líquidos de actividades mineros-metalúrgicos de Bhutan es de 0.5mg/L (6), en la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S. EPA), el límite de efluente minero medio mensual para el manganeso es de 2mg/L, y medio diario como máximo de 4mg/L y otra referencia es la regulación del Gobierno Canadiense donde establece 2mg/L de manganeso como valor límite medio mensual de vertido del efluente metal minero (13). Y sin dejar a lado el cumplimiento de normativa del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) con la finalidad de ser reusada para diversas actividades como el riego de sus áreas verdes y riego de las vías.

### **1.3.2. IMPORTANCIA**

La presente investigación es importante debido a su aporte científico en cuanto a la reducción de los impactos ambientales y sociales producto de las actividades mineras, generando nuevos conocimientos para solucionar un problema en específico (remoción

del manganeso) mediante un método fácil y de bajo costo en su desarrollo, con la finalidad de ayudar a las empresas en cumplir con sus compromisos ambientales, mejorando continuamente sus procesos, generando menor impactos negativos y mejorando la calidad ambiental.

La remoción del manganeso en las aguas de mina antes de ser descargado a un cuerpo receptor (ríos, lagunas, suelos, etc.) es importante porque ayuda a mejorar la calidad de agua, pudiendo ser reutilizada para riego de vías y áreas verdes.

## **1.4. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

#### **1.4.1.1. Hipótesis de investigación**

H1: La dosificación de lechada de cal en el agua de mina de la UM Huarón tiene efecto positivo en la remoción del manganeso.

#### **1.4.1.2. Hipótesis nula**

H0: La dosificación de lechada de cal en el agua de mina la UM Huarón no tiene efecto en la remoción del manganeso.

### **1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA**

- Para el objetivo específico 1: no fue necesario de establecer hipótesis puesto que su nivel de investigación es descriptivo.
- Para el objetivo específico 2:

H1: El nivel de acidez (pH) tiene relación directa con la eficiencia remoción del Manganeso en el agua de mina de la UM Huarón 2018.

H0: El nivel de acidez (pH) no tiene relación con la eficiencia de remoción del Manganeso en el agua de mina de la UM Huarón 2018.



### **1.4.3. VARIABLES**

#### **1.4.3.1. Variable dependiente**

Remoción del Manganeso.

#### **1.4.3.2. Variable independiente**

Dosificación de lechada de cal.

#### 1.4.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Hipótesis General

| Variables  | Definición conceptual  | Dimensiones o Categorías           | Indicador  |
|--|--|------------------------------------|--|
| <p><b><u>Variable Independiente:</u></b><br/>Dosificación de lechada de cal.</p> | <p>Cantidad de lechada de cal en volumen (ml) que se administra al agua residual de mina con la finalidad de incrementar su pH. La dosificación puede ser automática o manual.</p> | <p>Dosis de cal</p>                | <p>Masa de cal por volumen de agua procesada. (mg/L)</p>   |
| <p><b><u>Variable Dependiente:</u></b><br/>Remoción del Manganeseo</p>           | <p>Consiste en la reducción de la concentración del manganeso que se encuentra en el agua residual minero (14).</p>  | <p>Concentración del manganeso</p> | <p>Concentración inicial y final del manganeso (mg/L).</p>   |
|  |  | <p>Eficiencia de remoción</p>      | <p>% Remoción: <math>\frac{i-f}{i} \times 100</math><br/> Dónde:<br/> i= concentración de manganeso del agua de mina sin tratamiento en mg/l (inicial)<br/> f= concentración de manganeso del agua de mina tratada en mg/L (final)</p> |

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis Específica:

| Variables   | Definición conceptual  | Dimensiones o Categorías    | Indicador  |
|---|--|-----------------------------|--|
| <p><b><u>Variable Independiente:</u></b><br/>Nivel de acidez</p>      | Medida de acidez o alcalinidad de una solución o sustancia, que indica la cantidad de iones hidrogenes presentes. (15) | Índice de acidez            | Escala de pH 0-14  |
| <p><b><u>Variable Dependiente:</u></b><br/>Remoción del Manganeso</p> | Consiste en la reducción de la concentración del manganeso que se encuentra en el agua residual minero (14).           | Concentración del manganeso | Concentración inicial y final del manganeso (mg/L).  |
|   |  | Eficiencia de remoción      | <p>% Remoción: <math>\frac{i-f}{i} \times 100</math></p> <p>Dónde:<br/>i= concentración de manganeso del agua de mina sin tratamiento en mg/l (inicial)<br/>f= concentración de manganeso del agua de mina tratada en mg/L (final)</p> |

Fuente: Elaboración propia

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

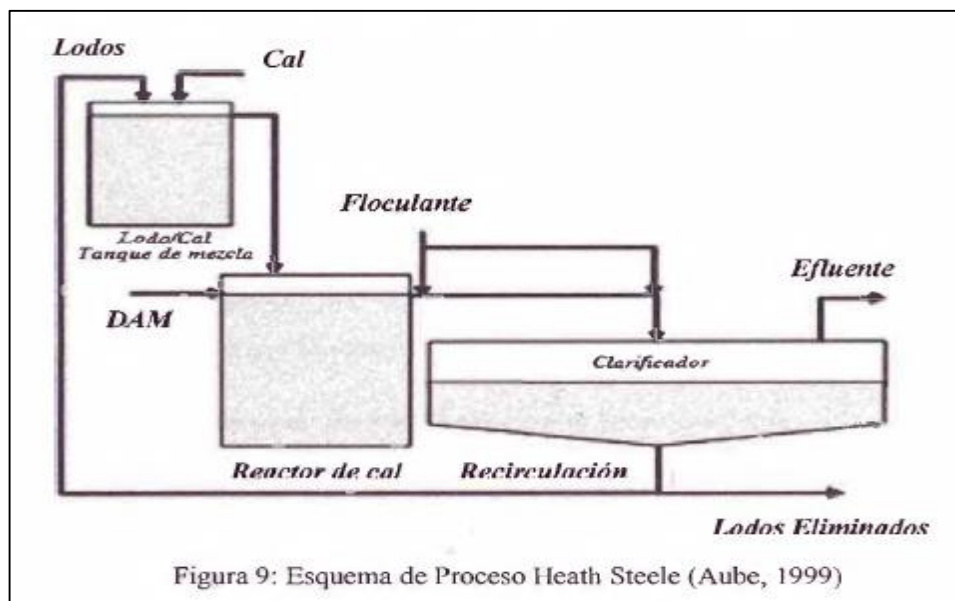
#### **2.1.1. ANTECEDENTES DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN**

En el trabajo de tesis titulado: “Eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con lechada de cal de la unidad minera Arasi - Puno”, tuvo como objetivo general: evaluar la eficiencia de la remoción de metales presentes en las aguas ácidas de mina mediante neutralización activo con lechada de cal. El tipo de investigación fue experimental donde se realizó las pruebas a nivel de laboratorio y al actual sistema de tratamiento (nivel de campo). Los resultados obtenidos a nivel de campo mediante Lechada de Cal demostró una eficiencia de remoción de promedio de 78.65% en los parámetros inorgánicos (metales totales), netamente para Mn a nivel de laboratorio logró remover 97.9% y a nivel de campo 98.7%; mientras que en los parámetros fisicoquímicos, obtuvo un pH de 8.1, oxígeno disuelto de 5.54mg/L y conductividad de 5.14 mS/cm, estos resultados fueron comparados con las normativas del Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas D.S N° 010-2010-MINAM y Estándares de Calidad de Agua D.S. N° 015-2015-MINAM- categoría 3, en donde están por debajo del valor de las normas, a excepción del manganeso que se obtuvo a nivel de laboratorio 0.635 mg/L y a nivel de campo 1.484 mg/L sobrepasando el valor establecido en el ECA de agua, que es de 0.2 mg/l. Por tanto, concluyó que al neutralizar el agua ácido con lechada de cal hay una eficiencia de remoción significativa tanto en los parámetros fisicoquímicos como inorgánicos y que mediante este método se obtiene agua tratada de buena calidad de acuerdo a las normativas vigentes. Y una

de sus recomendaciones es profundizar la investigación en tratamiento de agua ácida, para la remoción del manganeso hasta un 99% (16).

En el trabajo de tesis titulado: "Tratamiento de Aguas Ácidas de Drenaje de Mina con alto contenido de aluminio y manganeso por tecnología de lodos de alta densidad (HDS)". En Perú los tratamientos para aguas ácidas más comunes son los convencionales de neutralización y precipitación de metales de los drenajes ácidos, pero tienen limitaciones en la precipitación de ciertos metales incumpliendo con las normas o reglamentos mineros. Por ello se enfocaron en una tecnología de lodos de alta densidad HDS que es principalmente para el tratamiento de aguas ácidas de mina que tiene alto contenido de manganeso y aluminio. Tuvo como objetivos específicos: (i) evaluar la calidad del agua ácida por medio de pruebas de laboratorio para determinar el tratamiento químico a seguir. (ii) determinar la adecuada secuencia del proceso para el tratamiento de aguas ácidas y definir las etapas de tratamiento (iii) establecer la correcta dosificación de reactivos para obtener una calidad de agua que cumplan con los límites máximos permisibles que exige la normativa peruana. Consistió en dos etapas, donde la primera etapa fue para alcanzar un pH hasta 9.0, pero la oxidación del manganeso en pH menor a 9.5 es un proceso lento. Por ello en la segunda etapa mediante la dosificación de lechada de cal al 10% con la recirculación de lodos del clarificador se logró alcanzar un pH 11.0 y obtuvo un valor por debajo del LMP. Llegando a la conclusión de que los resultados muestran que para la Etapa I, elevando el pH entre 6.0 y 9.0 con lechada de cal al 10%, se reduce el contenido de metales pesados debido a la formación de precipitados, tales como: aluminio en la solución de 237mg/L a 0.85mg/L y manganeso de 54.5mg/L a 5.81mg/L. En la Etapa II se usaron lodos que se obtuvieron en la etapa I mezclados con la lechada de cal al 10% logrando  $\text{pH} > 10.0$  y disminuyendo la concentración del manganeso a  $< 0.01 \text{ mg/L}$ , valor que está por debajo del valor establecido en el ECA de agua- categoría 3 pero el pH sobrepasa, por ello lo regulariza mediante la adición de  $\text{CO}_2$  (gas) obteniendo un pH de 7.0-7.5 cumpliendo con la norma. Para lograr dichos resultados no solo se usó la lechada de cal también usó otros reactivos como: floculante al 0.1%, cloruro férrico al 40% para precipitar arsénico y hierro; y sulfhidrato de sodio al 10% para precipitar mercurio, cromo y cadmio y cumpliendo con las normativas vigentes D.S. 010-2010-MINAM (LMP) y DS.004-2017-MINAM (ECA de agua) (17).

**Figura 8: Esquema de proceso HDS (Lodos de alta densidad)**



**Fuente: Bernard Aubé - 2004 "The Science of Treating Acid Mine Drainage and Smelter Effluents" (18)**

En el trabajo de tesis titulado: "Remoción de metales pesado de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste", en la cual planteó como objetivo general: evaluar el potencial de remoción de hierro, cobre y otros elementos pesados, utilizando oxígeno, solución de lechada de cal y floculante. Actualmente la planta lo tratan adicionando lechada de cal, sulfuro de sodio y floculante, sin embargo algunos parámetros, como es el caso de metales pesados, incumplen con el LMP como 1.97mg/L de cobre y 5.35 mg/L de hierro. A raíz de eso, propuso dos alternativas para el adecuado tratamiento cumpliendo con el LMP y en ambas alternativas se usaron el método de oxidación, adición de lechada de cal y floculante. El efluente es sometido a la etapa de oxidación para que pueda pasar el ion ferroso a ion férrico, luego entra en contrato con la lechada de cal formando el hidróxido de hierro III, el cual precipita y al mismo tiempo coprecipitando otros elementos metálicos como cobre, arsénico y plomo; y por último adiciona un floculante para formar flóculos y precipitándolo en el sedimentado, obteniendo valores inferiores a lo establecido en las normas vigentes. Para ello se hizo 3 pruebas en el laboratorio de la UNI, dando resultados promedio: pH 7.06 unidades, TSS 25.9 mg/L, Fierro 0.74 mg/L, Cobre 0.076mg/L, Arsénico 0.048 mg/L y Plomo 0.095 mg/L, obteniendo valores inferiores a los establecido el D.S. 010-2010-MINAM y una eficiencia de remoción mayor al 90%. Por tanto, concluyó que el método usado con oxígeno,

lechada de cal y floculante para tratar el efluente minero logró remover los metales mayores a 90% de eficiencia por tanto, es un método factible. (1).

En el trabajo de tesis titulado: "Efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón- La Libertad", tuvo como objetivo general: evaluar el efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón, ya que los metales pesados contaminan al recurso hídrico perjudicando a los ecosistemas y al medio ambiente. Por ello se realizó pruebas experimentales tomando 3 muestras de efluente de 9 litros cada uno, realizando en diferentes tiempo de agitación 30, 60 y 90 minutos y en diferentes concentraciones de óxido de cal 40, 80, y 120g/L. Para determinar las concentraciones se empleó el espectrofotómetro de absorción atómica a la llama. Como resultados obtuvo, que con la concentración de óxido de cal de 80mg/L en un tiempo de agitación de 90 minutos se tuvo buena remoción y cumple con la normativa ambiental D.S. 010-2010-MINAN. Llegando a la conclusión que a más cantidad de cal añadido y tiempo de agitación, mayor es la eficiencia de remoción de hierro y cobre, por ello el pH influye bastante en la neutralización y remoción de los metales pesados, ya que a medida que el pH es más alcalino la concentración de hierro y cobre es menor en la solución y viceversa. También el tiempo de agitación influye significativamente en la eficiencia de remoción de los metales pesados (19).

### **2.1.2. ANTECEDENTES DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS Y ESTUDIOS.**

En el artículo científico titulado: "Propuesta de tratamiento para la eliminación del manganeso en la Planta de Neutralización de Aguas Ácidas, Victoria-Compañía Minera Volcán S.A.A, Perú", tuvo como objetivo: proponer una mejora tecnológica en el sistema preexistente de tratamiento para cumplir con las futuras exigencias de Límites Máximos Permisibles para la descarga de manganeso en los efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas, tomando como referencia la legislación ambiental internacional para vertido de efluente minero, los costos (energía y proceso) y las características de diseño de la planta actual. Estudió dos propuestas de tratamiento: oxidación mediante aireación y el intercambio iónico. Dentro de estos dos seleccionó la oxidación mediante aireación, ya que es un sistema eficaz para eliminar el manganeso de bajo costo operativo y de mantenimiento. La metodología fue añadir lechada de cal a los reactores para subir

el pH. La concentración de CaO utilizada, actualmente en la Planta, es de 0,66 g/L, este valor sube el pH hasta 8.5. Para precipitar el manganeso buscó aumentar el pH a 9,5 agregando 0,34 g/L más de CaO, es decir obtuvo una concentración de 1 g/L. Concluyendo que el ajuste de pH a 9.5 para precipitar al MnO<sub>2</sub> es un requisito necesario para su eliminación, este valor es referencia obtenida por la Planta de Tratamiento de Drenaje Ácido de la Mina Wheal Jane para eliminar o reducir la concentración del manganeso. El nivel de concentración de manganeso según la legislación ambiental peruana que es el ECA para el Agua D.S. 004-2017-MINAN - Categoría 3, Agua para riego de vegetales y bebidas de animales es 0,2 mg/L. En la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S. EPA), el límite de efluente minero medio mensual para el manganeso es de 2 mg/L, y medio diario como máximo de 4 mg/L. Otra referencia es la regulación del Gobierno Canadiense donde establece 2mg/L de manganeso como valor límite medio mensual de vertido del efluente metal minero. Por ello para alcanzar a todo lo mencionado, lo que recomienda este estudio es investigar sobre el pH para adecuarlos a la legislación ambiental vigente (13).

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.2.1.1. Agua ácida de mina**

Es el efluente que se produce por la oxidación natural de los minerales sulfurosos contenidos en las rocas cuando están expuestos a la acción del agua y aire (2).

Se caracteriza el agua ácida por tener un pH < 7.0 (ácido) y con alto contenido de metales y sulfatos (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Ni). El vertido de estas aguas con altas concentraciones son dañinos para la actividad biológica, contaminando los cursos de agua y podría llegar a causar daños al ser humano

La formación del agua ácida es mediante la siguiente reacción (2):

Agua + oxígeno + PAG-----agua ácida

Dónde:



PAG= Material Generador de Acidez son minerales sulfurosos como: piritita, calcopiritita, marcasita, arsenopiritita, pirrotita, etc.

Existen diferentes clasificaciones de las aguas residuales de mina en función a su pH:

**Tabla 01: Clasificaciones de las aguas residuales de mina (White, 1998)**

| CLASE                      | pH         |
|----------------------------|------------|
| Acido                      | 1.5 – 4.5  |
| Alcalino                   | 3.5 – 5.5  |
| Blandas ácidas             | 5.0 – 7.0  |
| Duras, neutras a alcalinas | 7.0 – 8.5  |
| Blandas, alcalinas         | 7.5 – 11.0 |
| Muy Salinas                | 6.0 – 9.0  |

Fuente: Revista Drenaje Ácido de Mina – Generación y tratamiento (2)

También pueden clasificarse las aguas de mina en función su pH y los contenidos de metales:

**Tabla 02: Clasificaciones de las Drenajes de Mina (Morin y Hutt, 2001)**

| Clase       | pH        | Descripción  |
|-------------|-----------|--|
| Ácido       | <6.0      | El nivel de metales disueltos en mayor en drenajes casi neutros. Caracterizados mayormente minas metálicas, carbón y piritas               |
| Casi neutro | 6.0 – 9.0 | Depende de la abundancia de metales que pueden ser ácidos o alcalinos. Concentración de metales disueltos y pueden exceder niveles tóxicos |
| Alcalino    | >9 o 10   | Niveles de Al son mayores que en los drenes casi neutros.  |

---

Caracterizados mayormente en las mineras de diamantina, molienda de bauxita y de carbón.

---

Fuente: Revista Drenaje Ácido de Mina – Generación y tratamiento (2)

### **2.2.1.2. Caracterización de aguas de mina**

La caracterización del efluente minero es importante y necesaria para poder dar soluciones óptimas y adecuadas al problema del efluente (20).

En relación a la presente investigación de tesis, luego que se caracteriza las aguas de mina de la UM Huarón y determinando cuales con los contaminantes que estén con altas concentraciones y sobrepasando las normativas ambientales, optamos por la elección del método de tratamiento para darle solución. Para ello vamos a ver el efecto de la dosificación de un reactivo alcalino en la remoción de los contaminantes a tratar.

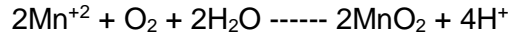
Así mismo en la caracterización del efluente se debe de tener en cuenta la medición de parámetros en campo como (2):

- pH
- Temperatura
- Conductividad
- OD

### **2.2.1.3. Manganeso**

El manganeso es un metal que se encuentra en varios tipos de rocas de forma natural, generalmente se encuentra en forma de óxidos, en silicatos y carbonatos como la Pirolusita ( $MnO_2$ ) la Braunita ( $MnS_{12}O_3$ ), la Rodonita ( $(MnSiO_3)$ , la Rodocrosita ( $MnCO_3$ ) y Hübnerita ( $MnWO_4$ ). Los países con mayores yacimientos de minerales de manganeso son Sudáfrica, Ucrania, Bolivia y China (11).

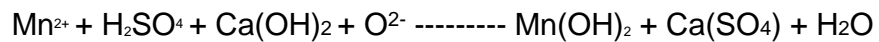
En las aguas ácidas el manganeso está presente en tres estados de oxidación:  $Mn^{+2}$ ,  $Mn^{+3}$  y  $Mn^{+4}$ , pero el ion manganeso  $Mn^{+2}$  es la forma estable que predomina en el agua a pH menor que 9.5.



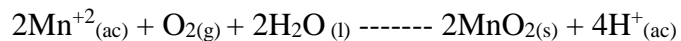
#### **2.2.1.4. Precipitación del manganeso**

La precipitación manganeso en las aguas ácidas de mina puede ocurrir mediante dos situaciones:

Precipitar en forma de hidróxidos a  $pH > 10.0$  según la siguiente reacción química (21):



O mediante la oxidación y precipitación de dióxido de manganeso ( $MnO_2$ ) que es un proceso lento a un pH menor a 9.5, de acuerdo a la siguiente reacción (17):



#### **2.2.1.5. Formas del manganeso en el agua**

El Mn se encuentra las aguas residuales domésticas, efluentes industriales y corrientes receptoras. La presencia suele estar asociado a elemento fierro (22).

En la muestra de aguas de mina, el manganeso puede estar en una de las tres formas:

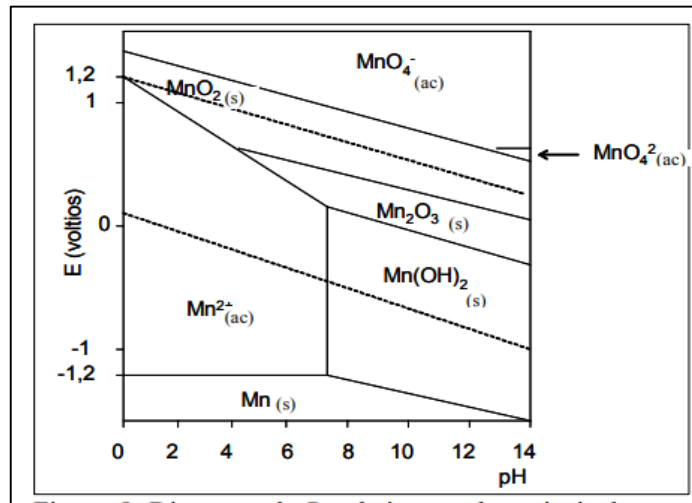
- Solución: Oxido de manganeso, ( $Mn^{+2}$ ).
- Estado Coloidal: como Hidróxido, que es difícil de asentar y filtrar.
- Como partículas suspendidas relativamente gruesas: Mangánico ( $Mn^{4+}$ ) formas insolubles (Orgánicas e Inorgánicas), que se agrupan por atracción iónica o por diversos mecanismos de formación (11).

### 2.2.1.6. Diagrama Pourbaix

Conocido también como diagrama de potencial-pH o Predominancia-área es una gráfica de potencial redox en función del pH que representa las principales especies estables termodinámicamente para un elemento químico (22)

En la figura N° 08, se muestra el diagrama de Pourbaix construido para las especies de manganeso en diferentes pH. La línea vertical resulta de un equilibrio tipo ácido-base entre las dos especies y por tanto es dependiente solo del pH.

Figura 09: Diagrama de Pourbaix para el manganeso.



Fuente: [www.academia.edu](http://www.academia.edu) (22)

Como se puede observar el ion  $Mn^{2+}$  a hidróxido de manganeso  $Mn(OH)_2$  en una solución se consigue aumentando el pH mayor a 7,0 (11).

### 2.2.1.7. Tratamiento de Aguas Ácidas de Mina

Existen dos grupos de métodos de tratamiento de aguas ácidas de mina (2):

- Método tratamiento activo: es el tratamiento mediante la adición sustancias alcalinas y tiene costo elevado cuando se trata grandes volúmenes. El más usado son los métodos de tratamiento químico, cuyo objetivo principal es la neutralización de la acidez, la

precipitación de los metales pesados y eliminación de sustancias contaminantes como sólidos en suspensión y entre otros (23).

- Método pasivo: métodos con la intervención del hombre como los humedales, drenajes anóxicos calizos, sistema de producción de alcalinidad y entre otros (2).

#### **2.2.1.8. Tratamiento químico activo de aguas ácidas de mina**

Se basan en la adición de sustancias alcalinas como cal, cal hidratada (lechada de cal), caliza, soda caustica, entre otros a fin de conseguir la neutralización del agua y poder alcanzar el pH adecuado para la precipitación de los metales pesados. Estos metales pesados precipitan como hidróxidos insolubles en un pH de 8.5 a 10.0. El manganeso comienza a precipitar cuando el pH es mayor a 9.5 (19).

La técnica de neutralización y precipitación con lechada de cal son los métodos más usados y menos costosos en la mayoría de las plantas de tratamientos de aguas de mina en Perú (19), donde la acidez es neutralizada, los metales y el SO<sub>4</sub> son precipitados en forma de hidróxidos.

#### **2.2.1.9. Remoción de metales pesados:**

Actualmente existe diversos métodos para la remoción de metales pesados, que son los más usados: la precipitación química, la reducción electrolítica, filtración por medio de membranas, intercambio iónico, extracción por medio de solventes y la adsorción (6). Estas tecnologías no son aplicables en todas las situaciones, debido a su baja eficiencia y aplicabilidad a una serie de contaminantes, a la dificultad de encontrar las óptimas condiciones para tratar distintos metales pesados que se encuentran en la solución y a su necesidad de pretratamiento de cada metal (1).

Según el *Laboratorio N°02 DE Minería y Medio Ambiente* menciona que las principales tecnologías para la neutralización y remoción de metales son (24):

- Precipitación química con lechada de cal
- Adsorción con carbón
- Intercambio iónico
- Osmosis reversible
- Electrodialisis
- Ozonización
- Ingeniería de pantanos

La segunda, tercera y cuarta tecnología son las más costosas y generan otros efluentes que requieren ser tratados. La electrodialisis y la ozonización son métodos nuevos que están siendo probados. La de ingeniería de pantanos consiste en almacenar grandes cantidades de lodos, pero, es sensible a las altas concentraciones de metales pesados. Y la precipitación química de metales pesados con lechada de cal es bastante conocida y menos costosa (24).

Por ello, para esta investigación se usó el método activo por tratamientos químicos (Precipitación química con lechada de cal)

#### **2.2.1.10. Métodos para remoción de metales pesados más usados:**

##### **2.2.1.10.1. Método de neutralización:**

Neutralización química, es la adición de sustancias alcalinas para neutralizar la acidez del agua, así como la acidez generada por la hidrolisis y precipitación de metales disueltos por el incremento del pH , este proceso podría ser como la etapa de pretratamiento o acondicionamiento previo a un proceso de precipitación (2).

Para poder aplicar el método de neutralización en un flujo residual, va a depender de 3 factores (25):

- El pH exigido

- El DBO
- La acidez o alcalinidad del flujo a tratar.

En la tabla 03 se presenta los reactivos más usados en el método de neutralización, que se usa para volver al efluente a pH neutro y poder formar lodos producto de la sedimentación.

**Tabla 03: Reactivos químicos neutralizantes**

| <b>Nombre Común</b>   | <b>Nombre Químico</b> | <b>Fórmula</b> | <b>Neutralización – eficiencia (%)</b> |
|-----------------------|-----------------------|----------------|--|
| <b>Caliza</b>         | Carbonato de Calcio   | $CaCO_3$       | 30                                     |
| <b>Cal Hidratada</b>  | Hidróxido de Calcio   | $Ca(OH)_2$     | 90                                     |
| <b>Cal viva</b>       | Óxido de Calcio       | $CaO$          | 90                                     |
| <b>Ceniza de Soda</b> | Carbonato de Sodio    | $Na_2CO_3$     | 60                                     |
| <b>Soda Caústica</b>  | Hidróxido de sodio    | $NaOH$         | 100                                    |
| <b>Amoniaco</b>       | Anhídrido de amoniaco | $NH_3$         | 100                                    |

Fuente: “Acid Mine Drainage Control And Treatment” (26).

#### **2.2.1.10.2. Método por precipitación química:**

Precipitación química, es la formación de compuestos insolubles por la adición de reactivos alcalinos. La principal aplicación de este proceso químico se centra en la eliminación de metales pesados (Ar, Cd, Cr, Pb, Hg, Zn, Mn y entre otros) mediante la formación de hidróxidos y que luego es separado por un sistema de decantación o sedimentación (25).

Este proceso tiene tres etapas:

- Ajuste del pH: el pH óptimo para la precipitación de los metales pesados es variable que está dentro del rango 9.5 y 12.0 obteniendo resultados buenos de eliminación o reducción de la concentración de los metales pesados.

- Adición de un agente precipitante: siendo los más utilizados los hidróxidos, carbonatos y sulfuros, que son más eficaces para la precipitación de metales pesados los carbonatos y sulfuros. Existe diferentes agente más usados, que se detalla en la tabla N° 04:

**Tabla 04: Agentes de precipitación para eliminación de iones metálicos pesados.**

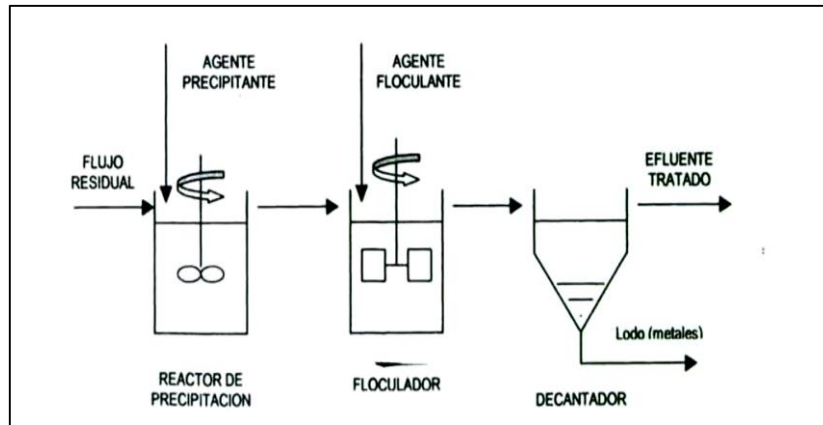
| <b>Agente de Precipitación</b>            | <b>Ventajas</b>                | <b>Desventajas</b>  |
|---|--------------------------------|---|
| <b>Hidróxido cálcico o lechada de cal</b> | Bajo coste                     | Impurezas, proceso lento<br>Precipita CaSO <sub>4</sub> , CaCO <sub>3</sub> |
| <b>Carbonato sódico</b>                   | Soluble. Rápido                | Coste superior  |
| <b>Hidróxido sódico</b>                   | Limpio. Rápido                 | Coste relativamente alto  |
| <b>Amoníaco</b>                           | Soluble. Rápido                | Formación de complejos,<br>nitrato amónico residual                         |
| <b>Sulfuro sódico</b>                     | Productos muy insolubles       | Desprende H <sub>2</sub> S  |
| <b>Ácido sulfúrico</b>                    | Rápido. Bajo coste             | Precipita CaSO <sub>4</sub>   |
| <b>Ácido clorhídrico</b>                  | Rápido. Limpio                 | Coste relativamente alto  |
| <b>Dióxido de carbono</b>                 | Disponibles gases combustibles |   |

**Fuente: Aduvire (2)**

- Floculación: adición de un reactivo para que los elementos precipitados se unan en forma de flóculos voluminosos y favorezcan en la decantación o sedimentación. Se puede utilizar sales de hierro o aluminio.

**Figura 10: Diagrama del proceso de tratamiento mediante precipitación química.**





Fuente: Libro de Tratamiento Físico-químicos (25).

La precipitación química con lechada de cal es uno de los medios más efectivos para el tratamiento de efluentes con altas concentraciones de metales. Después de ajustar el pH a condiciones alcalinas o básicas, los iones metálicos disueltos se convierten en compuestos insolubles por reacción químicas con un agente precipitante. Una de las desventajas de este método es el incremento de sólidos disueltos en el efluente y la generación de volúmenes de lodo, que puede contener compuestos tóxicos y ser difícil en su tratamiento y evacuación (27).

### 2.2.1.10.3. Método coagulación – floculación:

El proceso de coagulación es la adición de un coagulante que neutraliza las fuerzas que mantienen separados a los coloides, desestabilizándolos, y esto hace que incremente el tamaño de las partículas para que en seguida, por la floculación de los compuestos inestables, se unan formando flóculos (27).

### 2.2.1.10.4. Por oxidación química:

Proceso químico por el cual, mediante una reacción entre reactivos y contaminantes, se produce una transferencia electrónica, que origina cambios en el comportamiento químicos de ambos. Los agentes oxidantes mayormente

usados para tratar aguas residuales de origen industrial son: cloro, dióxido de cloro, hipoclorito sódico, permanganato potásico, oxígeno y ozono (25).

#### **2.2.1.10.5. Osmosis inversa:**

Proceso para separar por difusión controlada a través de membranas, reteniendo partículas hasta 0.0001 mm tamaño, por ello, por su amplia capacidad de retención es uno de los métodos más usados para el tratamiento de aguas potables para consumo humano (25).

#### **2.2.1.11. Toxicidad de manganeso (ser humana, animales y plantas)**

Los niveles altos de manganeso afectan al comportamiento y causa efectos al sistema nervioso como movimientos lentos y fallas de coordinación. La combinación de estos se conoce como la enfermedad del “manganismo”. Así mismo en pruebas de laboratorio con animales se ha demostrado que el manganeso puede causar desarrollo de tumores en animales y en las plantas si las concentraciones son altamente tóxicas en el suelo puede causar inflamación de la pared celular, abrasamiento de hojas y puntos marrones en las hojas de las plantas (11).

#### **2.2.1.12. Legislación aplicable:**

- Estándares de calidad ambiental para agua categoría 3: riego de vegetales y bebidas para animales. D.S. 004-2017-MINAM.

**Tabla 05: Estándar de Calidad Ambiental para agua**

| <b>Parámetro</b> | <b>Unidad</b> | <b>Concentración</b> |
|------------------|---------------|----------------------|
|------------------|---------------|----------------------|

|                       |      |     |
|-----------------------|------|-----|
| <b>Manganeso (Mn)</b> | mg/L | 0.2 |
|-----------------------|------|-----|

Fuente: Elaboración propia

- Límites máximos permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades mineros-metalúrgicos. D.S. 010-2010-MINAN.

**Tabla 06: Límites Máximos Permisibles**

| <b>Parámetro</b> | <b>Unidad</b> | <b>Límite en cualquier momento</b> | <b>Límite para el promedio anual</b> |
|------------------|---------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>pH</b>        | <b>Unidad</b> | 6-9                                | 6-9                                  |

Fuente: Elaboración propia

- LMP para descarga de efluentes líquidos de actividades mineros-metalúrgicos de Bhutan: respecto a esta norma internacional, la descarga del efluente minero en concentración de manganeso máximo es 0.5mg/L. Y en comparación con nuestros resultados obtenidos en laboratorio se encuentra dentro LMP.

**Figura 11: Límites Máximos Permisibles-Bhutan**

|    |                |           |       |       |  |
|----|----------------|-----------|-------|-------|--|
| 18 | Manganese (Mn) | 0.5       |       |       |  |
| 19 | Mercury (Hg)   | 0.001     | 0.001 | 0.001 |  |
| 20 | Nickel (Ni)    | 0.1       | 0.5   | 0.5   |  |
| 21 | Oil and grease | 5.0       |       |       |  |
| 22 | pH             | 6.5 - 8.5 |       |       |  |

Fuente: Comisión Nacional Ambiental de Bhutan (28).

- Límites máximos permitidos para descarga de residuos líquidos industriales a cuerpos de agua fluviales en Chile. Con respecto a la

concentración de manganeso la concentración máxima es de 0.3mg/L.

**Figura 12: Límites Máximos Permisibles –Chile**

| LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA LA DESCARGA DE RESIDUOS LIQUIDOS A CUERPOS DE AGUA FLUVIALES |            |             |                         |
|--|------------|-------------|-------------------------|
| Contaminantes  | Unidad     | Expresión   | Límite Máximo Permitido |
| Aceites y Grasas   | mg/L       | A y G       | 20                      |
| Aluminio   | mg/L       | Al          | 5                       |
| Arsénico   | mg/L       | As          | 0,5                     |
| Boro   | mg/L       | B           | 0,75                    |
| Cadmio   | mg/L       | Cd          | 0,01                    |
| Cianuro  | mg/L       | CN-         | 0,20                    |
| Cloruros   | mg/L       | Cl-         | 400                     |
| Cobre Total  | mg/L       | Cu          | 1                       |
| Coliformes Fecales o Termotolerantes   | NMP/100 ml | Coli/100 ml | 1000                    |
| Índice de Fenol  | mg/L       | Fenoles     | 0,5                     |
| Cromo Hexavalente  | mg/L       | Cr6+        | 0,05                    |
| DBO5   | mg O2/L    | DBO5        | 35 *                    |
| Fósforo  | mg/L       | P           | 10                      |
| Fluoruro   | mg/L       | F-          | 1,5                     |
| Hidrocarburos Fijos  | mg/L       | HF          | 10                      |
| Hierro Disuelto  | mg/L       | Fe          | 5                       |
| Manganeso  | mg/L       | Mn          | 0,3                     |
| Mercurio   | mg/L       | Hg          | 0,001                   |
| Molibdeno  | mg/L       | Mo          | 1                       |
| Níquel   | mg/L       | Ni          | 0,2                     |
| Nitrógeno Total Kjeldahl   | mg/L       | NKT         | 50                      |
| Pentaclorofenol  | mg/L       | C6OHC15     | 0,009                   |
| PH   | Unidad     | pH          | 6,0 -8,5                |
| Plomo  | mg/L       | Pb          | 0,05                    |
| Poder Espumógeno   | mm         | PE          | 7                       |
| Selenio  | mg/L       | Se          | 0,01                    |
| Sólidos Suspendidos Totales  | mg/L       | SS          | 80 *                    |
| Sulfatos   | mg/L       | SO42-       | 1000                    |
| Sulfuros   | mg/L       | S2-         | 1                       |
| Temperatura  | C°         | T°          | 35                      |
| Tetracloroetano  | mg/L       | C2C14       | 0,04                    |
| Tolueno  | mg/L       | C6H5CH3     | 0,7                     |
| Triclorometano   | mg/L       | CHC13       | 0,2                     |
| Xileno   | mg/L       | C6H4C2H6    | 0,5                     |
| Zinc   | mg/L       | Zn          | 3                       |

**Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (29)**

- En la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S. EPA), el límite de efluente minero medio mensual para el manganeso es de 2mg/L, y medio diario, como máximo de 4mg/L.

**Figura 13: Límites de descarga de efluentes mineros – U.S.**

| POINT-SOURCE DISCHARGE LIMITATIONS<br>FOR ACID MINE DRAINAGE<br>(NEW-SOURCE PERFORMANCE STANDARDS) |                                  |  |
|--|----------------------------------|--|
| Effluent<br>Characteristic   | Effluent Limitations             |  |
|  | Maximum for Any<br>1 Day<br>mg/l | Average of Daily Values<br>for 30 Consecutive Days<br>Shall Not Exceed<br>mg/l |
| Iron, total  | 7.0                              | 3.5  |
| Manganese, total   | 4.0                              | 2.0  |
| Total suspended solids (TSS)   | 70.0                             | 35.0   |
| pH   | Within the range<br>6.0-9.0      | --   |

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (30)

- Norma de Calidad Ambiental Y de Descarga de Efluentes - Recurso Agua de Ecuador: el límite para la descarga de efluentes industriales (pesca, minería, etc.) a un cuerpo receptor en manganeso máximo es 2mg/L.

Figura 14: Límite para la descarga de efluentes industriales – Ecuador

| Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce |                              |        |                          |
|---|------------------------------|--------|--------------------------|
| Parámetros                                    | Expresado como               | Unidad | Límite máximo permisible |
| Hierro total                                  | Fe                           | mg/l   | 10,0                     |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo             | TPH                          | mg/l   | 20,0                     |
| Manganeso total                               | Mn                           | mg/l   | 2,0                      |
| Materia flotante                              | Visibles                     |        | Ausencia                 |
| Mercurio total                                | Hg                           | mg/l   | 0,005                    |
| Níquel  | Ni                           | mg/l   | 2,0                      |
| Nitratos + Nitritos                           | Expresado como Nitrógeno (N) | mg/l   | 10,0                     |

Fuente: República del Ecuador (31)

## 2.2.2. FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS

### **2.2.2.1. Método de precipitación química para la remoción del manganeso:**

Los compuestos formados producto de la precipitación pueden ser como hidróxidos o sulfuros. En la precipitación como hidróxidos se usa reactivos como hidróxido de calcio, cal, hidróxido de sodio y los demás hidróxidos; es el método más común debido a que la mayoría de los metales pesados solubles precipitan con facilidad al elevar el pH, formando compuestos de hidróxidos del metal que son insolubles y son precipitados en la solución. El pH de precipitación es diferente para cada metal que está entre rangos de pH entre 9.0 a 10.5, es un método de bajo costo y de fácil control del pH (32). Y en la precipitación como sulfuros se usan reactivos como ácido sulfhídrico, sulfuros de bario y sulfuro de sodio, especialmente usado para remoción de mercurio y cromo hexavalente, la ventaja de este tipo es que generados precipitados densos y reciclables, por tanto se genera menor cantidad de lodos y la recuperación de sulfuros metálicos. (20).

El método usado en la presente investigación para la remoción de manganeso fue por precipitación química como hidróxido, donde se eleva el pH del efluente entre 8.5 a 10.5 mediante la adición de lechada de cal y se obtienen precipitados de hidróxidos metálicos que se separa mediante la sedimentación.



### **2.2.2.2. Pruebas de Jarras.**

Conocido también como Test de Jarras, es un procedimiento que se utiliza en los laboratorios para determinar la dosis óptima de un reactivo químico (coagulante o floculante) para el tratamiento de aguas, estas pruebas permiten ajustar el pH, hacer variaciones de dosis en diferentes sustancias químicas que se añaden a la muestra y alterar las velocidades de mezclado (33).

Esta prueba es la mejor simulación química de la clarificación o tratamiento de agua.

Procedimiento para la prueba de jarras es:

- Tomar la muestra a la entrada de la PTAP, PTARD, PTAM (aguas sin tratamiento).
- Medir con la probeta 1 litro y trasladar a cada jarra
- Definir la cantidad del reactivo o coagulante a usar.
- Para ayudar a sedimentar también se debe de agregar un floculante
- Aplicar a cada jarra
- Programar la velocidad (rpm) y el tiempo de agitación (min)
- Dejar sedimentar por un tiempo determinado
- Analizar la muestra final

### **Dosis de cal**

Para determinar la dosis del óxido de calcio (cal) utilizada en cada jarra se calcula mediante la siguiente fórmula (34):

$$C_{cal} = C_s * \frac{V_i}{V_f}$$

Donde:

$C_{cal}$ = dosis de cal en cada jarra (mg/L)

$V_i$ = volumen de la solución de lechada de cal agregado a cada jarra (mL).

$C_s$ = concentración de la solución madre (lechada de cal) (g/L).

$V_f$ = volumen del agua cruda a analizar en la jarra (L)

### **Dosis de descarga a nivel de campo**

Para saber cuánto es la dosis de descarga L/s de la lechada de cal a nivel de campo aplicamos la siguiente fórmula (33):

$$\text{Dosis de descarga (L/s)} = \frac{Q * \text{Dosis de lechada de cal (mL/L)}}{1000}$$

Donde:

Q= Caudal del agua de mina (L/s)

### 2.2.2.3. Eficiencia de remoción del manganeso

La remoción del manganeso es la capacidad de reducir o eliminar parte de la concentración del metal manganeso que se encuentra en el agua residual (aguas de mina). La eficiencia de remoción se calcula mediante la siguiente ecuación (19):

$$\% \text{ Remoción: } \frac{i-f}{i} \times 100$$

Donde:

i= concentración de manganeso del agua de mina sin tratamiento en mg/l

f= concentración de manganeso del agua de mina tratada en mg/l

## 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- a. **Agua ácida de mina:** Es el efluente generado por la actividad minera, que se produce por la oxidación natural de los minerales sulfurosos contenidos en las rocas cuando están expuestos a la acción del agua y aire (2).
- b. **Calidad de agua:** obtener agua que garantiza la protección del medio ambiente natural local (35).
- c. **Efluente minero:** es cualquier flujo regular o estacional de las labores, excavaciones, planta de procesamiento de minerales, sistemas de tratamientos de agua residual descargadas a un cuerpo receptor (3).
- d. **Estándar de Calidad Ambiental:** Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente (36).



- e. **Lechada de cal:** sustancia alcalina que alcanza 12.4 de pH, que se forma por la combinación de óxido de calcio y agua. Usualmente usado para la neutralización y precipitación de metales pesados en el tratamiento de las aguas (25).
- f. **Límites Máximos Permisibles:** Es medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan el efluente líquido de actividades minero- metalúrgicos, y que al exceder causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental (3).
- g. **Manganeso:** es un metal que se encuentra en varios tipos de rocas de forma natural, generalmente se encuentra en forma de óxidos, en silicatos y carbonatos (11).
- h. **Metales pesados:** es cualquier elemento químico metálico que tiene densidad alta y es venenoso en concentraciones bajas (37).
- i. **Muestreo de agua:** muestras útiles y representativas que son utilizadas para determinar la eficiencia del sistema de manejo de agua de mina y evaluar el impacto ambiental de la mina y a sus alrededores (35). Que pueden ser muestras tomadas al azar (puntuales) o compuestas (para la presente investigación fue muestras tomadas al azar, en un determinado momento y lugar en el recorrido del flujo residual, es decir agua tomadas al ingreso de la planta de tratamiento).
- j. **Neutralización:** Consiste en alcanzar el pH de sustancias ácidas o bajar el pH de sustancias alcalinas, para llegar a un pH neutro y formar agua y sal. Este proceso podría ser como la etapa de pretratamiento o acondicionamiento previo a un proceso de precipitación (2).
- k. **pH:** Es cuán ácida o básica es una sustancia. El pH del agua, es una propiedad de carácter químico de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática (38).
- l. **Precipitación química:** consiste en la retención de metales pesados convirtiendo una sustancia disuelta en forma insolubles por medio de la adición de lechada de cal, hidróxido de sodio y otros compuestos que suban el pH. Es la tecnología de pretratamiento más común que se utiliza para reducir la concentración de metales en el agua residual (19).
- m. **Remoción de metales pesados:** es la capacidad del sistema para reducir o eliminar parte de la concentración de contaminantes que se encuentra en el agua residual (14). Actualmente existe varios procesos químicos para la remoción de metales pesados

como: la precipitación química, la extracción por medio de solventes, el intercambio iónico, la filtración por membranas y la adsorción (1).

- n. **Tratamiento Químico Activo:** Proceso en el cual se añade sustancias o reactivos químicos al drenaje ácido de mina o agua residuales contaminadas para mejorar la calidad del agua (16) y cumplir con la normativa ambiental ECA y LMP.

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. MÉTODO, Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1.1. Método general**

El método general apropiado para la presente investigación fue el método científico, debido a que conllevó a seguir un conjunto de pasos, técnicas y procedimientos para formular y resolver el problema de investigación mediante la experimentación y prueba de hipótesis (39).

##### **3.1.1.2. Método específico**

Se utilizó el método analítico e inductivo; analítico en el proceso metodológico, porque las muestras de agua obtenidas fueron analizadas: el pH en campo y la concentración de los metales pesados por el laboratorio Bureau Veritas del Perú S.A; e inductivo porque se basó en la observación, en el estudio teórico y en la experimentación desde un enfoque puntual para poder llegar a una conclusión. Para determinar el efecto de dosificación de lechada en la remoción del manganeso de las aguas de mina conllevó a realizar experimentos con diferentes dosis de lechada de cal alcanzando diferentes pH (8.5; 9.0; 9.5; 10.0; 10.5).

#### **3.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación asumida es aplicada, porque se llevó a la práctica los conocimientos teóricos para resolver el problema de investigación que es la elevada concentración del manganeso del agua de mina de la UM Huarón que sobrepasa las normativas ambientales nacionales e internacionales. Una vez revisando lo teórico, se pasó a realizar pruebas de test de jarras con lechada de cal para la remoción (reducción) de la concentración de manganeso y de esta manera lograr un valor menor a lo establecido en la normativa ambiental, ya que es una necesidad de la empresa como mejora continua de sus procesos.

### **3.1.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

El nivel de investigación fue explicativo, porque se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se produce o por qué se relaciona dos o más variables (40). También porque pueden ocuparse en la determinación de las causas o en la determinación de los efectos (investigación experimental) mediante la prueba de hipótesis (39).

## **3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El diseño de investigación es pre-experimental de grupo único con pretest y postest (también conocido como Diseño pretest-postest de un solo grupo), ya que se tuvo el control, solo de un parámetro que es el pH y se evaluó a la variable dependiente (remoción del manganeso); es decir primero se realizó un pretest analizando el agua de mina (sin tratamiento), después se dosificó la lechada de cal a cada jarra y finalmente se realizó el postest analizando el agua de mina. Campbell y Stanley mencionada que en este diseño se efectúa un análisis o una prueba antes de introducir la variable independiente (O1) y otra después de su aplicación o introducción (O2); si el análisis o prueba se administrara antes de la introducción de la variable independiente se llama pretest y si se administra después se denomina postest (41).

El Diagrama del diseño de investigación de pre-experimental de grupo único con pretest y postest es la siguiente:

**G: O1 -----X ----- O2**

Donde:

G: Grupo (agua de mina)

O1: Análisis de la muestra inicial del agua de mina (sin dosificación de lechada de cal).

X: Aplicación del tratamiento mediante dosificación de lechada de cal

O2: Análisis de la muestra final del agua de mina (con dosificación de lechada de cal)

### 3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.3.1. POBLACIÓN

La población en esta investigación son las aguas residuales generadas por la U.M. Huarón: aguas residuales domésticas e industriales. Donde tiene dos PTARD (Planta de Tratamiento de Aguas Domesticas) y una PTAM (Planta de Tratamiento de Aguas de Mina).

#### 3.3.2. MUESTRA

La muestra estuvo constituida por 6 litros de agua de mina (agua industrial cruda) que fue separado 1 litro en cada vaso precipitado, que fue usado para realizar la parte experimental (test de jarras). Después de realizar el test de jarras se saca muestras de 250mL de cada vaso precipitado y fueron enviados al laboratorio Bureau Veritas del Perú S.A para su análisis.

**Tabla 07: Código de las muestras en las Jarras**

|                | <b>Código de muestra</b> | <b>Descripción</b>                  |
|----------------|--------------------------|-------------------------------------|
| <b>Pretest</b> | P0                       | Sin dosificación de lechada de cal. |
|                | P1                       | Se agregó 0.4 mL de lechada de cal  |
|                | P2                       | Se agregó 1.0 mL de lechada de cal  |
| <b>Postest</b> | P3                       | Se agregó 2.2 mL de lechada de cal  |
|                | P4                       | Se agregó 3.0 mL de lechada de cal  |

---

Fuente: Elaboración propia

### **3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.4.1. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

La recolección de datos se obtuvo mediante el trabajo en laboratorio “prueba o test de jarras” y los resultados de análisis de las muestras de agua por el laboratorio Bureau Veritas del Perú S.A.

##### **3.4.1.1. Técnica de la recolección de muestra de agua en campo:**

Dentro del Protocolo de Muestreo de Aguas Industriales y del MEM “Protocolo de monitoreo de calidad de agua” Sub-sector minería se tiene en consideración dos tipos de muestras a realizar: muestras tomadas al azar (puntuales o simples) o muestras compuestas.

Por tanto, la técnica que se usó en la presente investigación para la toma de muestra de agua en campo fue tomada al azar (puntuales), que es el tipo más común para el monitoreo de aguas superficiales en la mina, que se recolectó en un determinado momento y lugar en el recorrido del flujo de agua. Se sacó muestra al ingreso de la planta de tratamiento de aguas de mina (PTAM), como se puede ver en la Figura N°06.

##### **3.4.1.2. Técnica para la preparación de la lechada de cal:**

- Primero se agregó agua hasta la mitad del tanque de preparación de lechada de cal (10m<sup>3</sup>).
- Luego se agregó 337kg de óxido de calcio al tanque de preparación y se comenzó a agitar.
- Después se agregó agua hasta llenar en su totalidad el tanque, obteniendo una concentración de 3.37% de peso – volumen.

- Finalmente se retiró en una jarra la solución y fueron agregados en diferentes cantidades (mL) a cada jarra “PRUEBA DE JARRAS” hasta alcanzar el pH requerido.

#### 3.4.1.3. Técnica de recolección de datos en la prueba de jarras

- Después de realizar el punto 3.4.1.1. se separó 1Litro para cada jarra (vaso precipitado) que están rotulados: P0, P1, P2, P3, P4 y P5.

**Figura 15: Prueba de Jarras con el agua de mina cruda.**



**Fuente: Propia**

- Luego se comenzó a agitar a 400rpm (mezcla rápida) por 5 minutos, adicionando a cada jarra la lechada de cal en diferentes dosis (tabla 07) hasta conseguir el pH requerido (tabla N° 11).

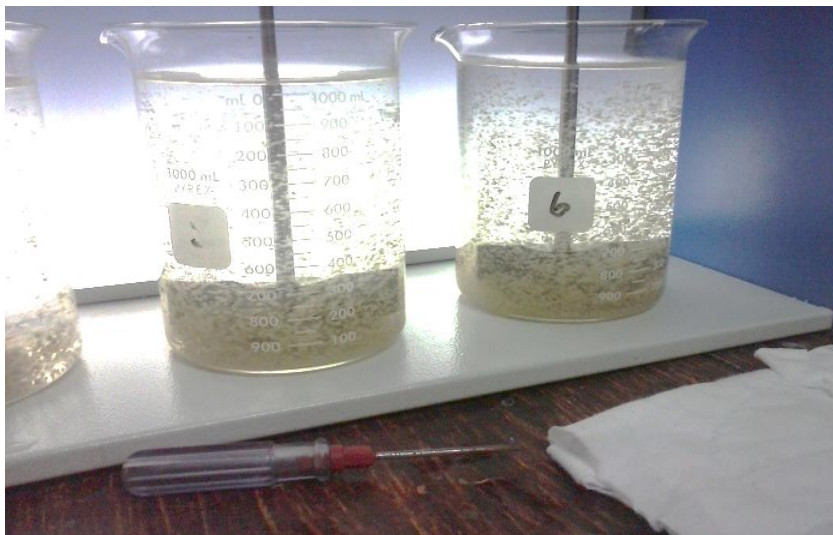
**Figura 16: Prueba de Jarras agregando lechada de cal.**



Fuente: Propia

- Después se disminuyó la agitación a 45rpm (mezcla lenta) por 15 minutos, adicionando 1mL de floculante MT-6506 a cada jarra, para que ayude a sedimentar los flóculos formados.

Figura 17: Prueba de Jarras agregando floculante MT 0665.



Fuente: Propia

- Luego se dejó sedimentar por 1 hora.

Figura 18: Sedimentación de los flóculos en cada jarra.





Fuente: Propia

- Y finalmente se sacó muestras finales de cada jarra (vaso) en frascos de polietileno de 250mL que fueron preservados con ácido nítrico (10 gotas), etiquetados y enviados al laboratorio Bureau Veritas del Perú S.A.

### 3.4.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los instrumentos que se usaron en esta investigación fueron equipos, materiales y reactivos que se mencionan en la tabla N° 08.

Tabla 08: Equipos, materiales y reactivos usados en el experimento

| Equipos        | Materiales                                      | Reactivos                         |
|----------------|---|-----------------------------------|
| Test de jarras | Hojas de datos de campo<br>(cadena de custodia) | Óxido de calcio (CaO)             |
| pH-Metro       | Vasos precipitados de<br>1000mL                 | Ácido Nítrico (HNO <sub>3</sub> ) |
|                | Frascos de polietileno de<br>250mL              | Agua                              |
|                | Jeringa   |                                   |

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3. TÉCNICA DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

- Para determinar el pH se usó el equipo pH-metro.
- Para el análisis de los resultados reportados por el laboratorio, fueron procesados de manera estadística usando Microsoft Excel donde se realizó tablas y figuras.
- Para la prueba estadística de las hipótesis se usó el programa IBM-SPSS, con la finalidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

##### 4.1.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE MINA

Tabla 09: Caracterización del agua de mina en metales pesados totales (efluente tratado).

| Fecha                                      | Hora  | Concentración mg/L |       |       |       |       |
|--|-------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
|  |       | Cu                 | Fe    | Mn    | Pb    | Zn    |
| 20-01-19                                   | 10:00 | 0.094              | 0.471 | 2.931 | 0.08  | 0.223 |
|  | 14:00 | 0.096              | 0.476 | 3.105 | 0.085 | 0.233 |
|  | 18:00 | 0.098              | 0.368 | 3.808 | 0.029 | 0.15  |
|  | 22:00 | 0.057              | 0.499 | 3.713 | 0.019 | 0.153 |
| 21-01-19                                   | 02:00 | 0.078              | 0.606 | 4.073 | 0.043 | 0.205 |
|  | 06:00 | 0.065              | 0.529 | 3.6   | 0.067 | 0.183 |
|  | 10:00 | 0.080              | 0.432 | 3.288 | 0.044 | 0.101 |
|  | 14:00 | 0.076              | 0.35  | 3.013 | 0.033 | 0.092 |
| LMP<br>DS.010-2010-MINAN                   |       | 0.5                | 2.0   | -     | 0.2   | 1.5   |
| D.S.004.2017-MINAN (ECA<br>categoría 3 D1) |       | 0.2                | 5     | 0.2   | 0.05  | 2     |
| D.S.004.2017-MINAN (ECA<br>categoría 3 D2) |       | 0.5                | NA    | 0.2   | 0.05  | 24    |

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la tabla 09, los parámetros del efluente minero cumplen con los Límites Máximos Permisibles, pero el metal que se está analizando en la presente investigación, que es el manganeso, sobrepasa los valores de referencia de la normativa peruana ECA y las normativas internacionales, obteniendo entre 2.931 y 4.073mg/L de manganeso que es vertido a un cuerpo receptor (Rio San José).

#### 4.1.2. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE JARRAS (SIN Y CON DOSIFICACIÓN DE LECHADA DE CAL AL AGUA DE MINA)

**Tabla 10: Concentración de Manganeso y pH en el agua de mina sin dosis de lechada de cal**

| P0 = AGUA DE MINA SIN TRATAMIENTO (PRE-TEST) |                      |      |                       |     |   |         |   |         |
|--|----------------------|------|-----------------------|-----|---|---------|---|---------|
| Ion metálico                                 | Concentración (mg/L) | pH   | LMP DS.010-2010-MINAN |     | D.S.004.2017-MINAN (ECA categoría 3 D1) |         | D.S.004.2017-MINAN (ECA categoría 3 D2) |         |
|  |                      |      | Mn                    | pH  | Mn (mg/L)                               | pH      | Mn (mg/L)                               | pH      |
| Mn   | 19.4748              | 7.96 | -                     | 6-9 | 0.2                                     | 6.5-8.5 | 0.2                                     | 6.5-8.4 |

**Fuente: Elaboración propia**

Se obtuvo el pH y la concentración de manganeso en el agua de mina sin tratar (muestra sacada a la entrada a la PTAM) usando el equipo pH-metro y el análisis de Metales Totales por ICP-MS realizado por el laboratorio Bureau Veritas del Perú S.A. Logrando obtener en pH 7.96 y manganeso 19.4748 mg/L. Estos resultados serán nuestro control para poder determinar la remoción del metal en estudio cuando se dosifica lechada de cal.

**Tabla 11: Concentración de Manganeso y pH en el agua de mina tratada con diferentes dosis de lechada de cal.**

| <b>AGUA DE MINA TRATADA CON DIFERENTES DOSIS DE LECHADA DE CAL<br/>(POST-TEST)</b> |                                    |   |  |  |
|--|------------------------------------|---|--|--|
| <b>Código<br/>de<br/>Jarra</b>   | <b>lechada de cal al<br/>3.37%</b> | <b>Mezcla rápida: 400RPM /<br/>5min</b>               |  | <b>Concentraci<br/>ón final de<br/>manganeso</b> |
|  |                                    | <b>Floculación con Mezcla<br/>lenta: 45 RPM/15min</b> |  |  |
|  |                                    | <b>Sedimentación: 0 RPM/<br/>1hora</b>                |  |  |
|  | <b>Solución (mL/L)</b>             | <b>pH (Unid.)</b>                                     |  | <b>Mn (mg/L)</b>                                 |
| <b>P-1</b>   | 0.4                                | 8.5   |  | 6.8583   |
| <b>P-2</b>   | 1.0                                | 9.0   |  | 4.9074   |
| <b>P-3</b>   | 2.2                                | 9.5   |  | 1.1324   |
| <b>P-4</b>   | 3.0                                | 10.0  |  | 0.4550   |
| <b>P-5</b>   | 3.2                                | 10.5  |  | 0.0833   |

**Fuente: Elaboración propia**

En la tabla N° 11, se muestra los resultados de pH y de la concentración de manganeso que se logró alcanzar mediante la dosificación de lechada de cal en diferentes dosis. En comparación con los resultados de la tabla 9, la concentración del manganeso ha reducido, como se puede ver en la jarra P-5, que hubo mayor reducción de manganeso (0.0833 mg/L). Por tanto se concluye que la dosificación de lechada de cal tiene efectos positivos en la remoción de manganeso del agua de mina de la UM Huarón 2018.

### 4.1.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

Tabla 12: Comparación de los resultados obtenidos con normas internacionales

| Resultado del efluente tratado |           | LMP- PERÚ | LMP-BHUTAN | LMP-CHILE |
|--------------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|
| pH                             | Mn (mg/L) | pH        | Mn (mg/L)  | Mn (mg/L) |
| 10.0                           | 0.455     | 6-9       | 0.5        | 0.3       |
| 10.5                           | 0.0833    | 6-9       | 0.5        | 0.3       |

Fuente: Elaboración Propia

Al comparar los resultados con las normas internacionales sobre Límites Máximos Permisibles para descarga de Efluentes Mineros, observamos que cumplimos con el LMP de BHUTAN considerado un pH de 10.0 y 10.5; pero al comparar con el LMP de Chile solo cumplimos alcanzando un pH de 10.5. Por tanto se puede decir que la remoción del manganeso se puede lograr mediante la dosificación de lechada de cal precipitando mucho mejor a pH mayores de 10.0, y de esta manera cumplir con las futuras exigencias del Límites Máximos Permisibles para Descarga de Efluentes Mineros-Metalúrgicos de Perú y con el cumplimiento de las normas internacionales vigentes.

### 4.1.4. RESULTADOS DE LA RELACIÓN DEL NIVEL DE ACIDEZ (PH) Y LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL MANGANESO

#### Eficiencia de remoción del manganeso

$$\% \text{ Remoción: } \frac{i-f}{i} \times 100$$

Dónde:

i= concentración de manganeso del agua de mina sin tratamiento en mg/L

f= concentración de manganeso del agua de mina tratada en mg/L

**Tabla 13: Relación de nivel de acidez (pH) y Eficiencia de remoción del manganeso con dosificación de lechada de cal (diferentes dosis)**

| <b>EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL MANGANESO (%)</b> |           |                            |                          |                            |
|---|-----------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <b>Código de Jarra</b>                          | <b>pH</b> | <b>Mn (mg/L) - inicial</b> | <b>Mn (mg/L) – final</b> | <b>% de remoción de Mn</b> |
| <b>P-1</b>                                      | 8.5       | 19.4748                    | 6.8583                   | 64.78%                     |
| <b>P-2</b>                                      | 9.0       | 19.4748                    | 4.9074                   | 74.80%                     |
| <b>P-3</b>                                      | 9.5       | 19.4748                    | 1.1324                   | 94.19%                     |
| <b>P-4</b>                                      | 10.0      | 19.4748                    | 0.455                    | 97.66%                     |
| <b>P-5</b>                                      | 10.5      | 19.4748                    | 0.0833                   | 99.57%                     |

**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede apreciar en la tabla 13, el nivel de acidez (pH) del agua tiene mucha relación con la eficiencia de remoción del Manganeseo. Cuando el pH va aumentando la eficiencia de remoción del manganeso es mucho mayor, como es el caso de la jarra P-5 en donde se agregó 3.2 mL de solución de lechada de cal al 3.37% de peso-volumen logrando alcanzar un pH de 10.5 se logró obtener una concentración de 0.0833 mg/L de manganeso con una eficiencia de remoción de 99.57% a diferencia de la jarra P-1 logrando alcanzar un pH de 8.5 solo se logra un 64.78% de remoción (0.455 mg/L).

#### **4.1.5. RESULTADOS DE LA DOSIS DE CAL EN CADA JARRA**

$$C_{cal} = C_s * \frac{V_i}{V_f}$$

- P -1

$$C_{cal} = 33.7 \text{ g/L} * \frac{0.4\text{mL}}{1\text{L}}$$

$$C_{cal} = 13.48 \text{ mg/L}$$

- P -2

$$C_{cal} = 33.7 \text{ g/L} * \frac{1 \text{ mL}}{1 \text{ L}}$$

$$C_{cal} = 33.7 \text{ mg/L}$$

- P -3

$$C_{cal} = 33.7 \text{ g/L} * \frac{2.2 \text{ mL}}{1 \text{ L}}$$

$$C_{cal} = 74.14 \text{ mg/L}$$

- P -4

$$C_{cal} = 33.7 \text{ g/L} * \frac{3 \text{ mL}}{1 \text{ L}}$$

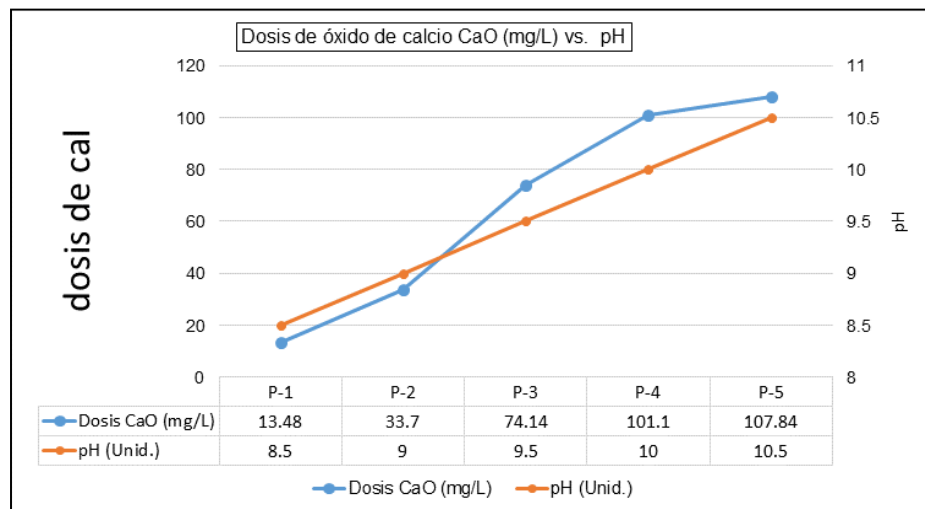
$$C_{cal} = 101.10 \text{ mg/L}$$

- P -5

$$C_{cal} = 33.7 \text{ g/L} * \frac{3.2 \text{ mL}}{1 \text{ L}}$$

$$C_{cal} = 107.84 \text{ mg/L}$$

**Figura 19: Relación de pH y dosis de cal**



Fuente: Elaboración propia



Como se puede ver en la figura; para obtener un pH de 10.5 la dosis de cal fue de 107.84 mg/L (jarra P-5), a diferencia del resto que fue mucho mayor. Por tanto si se quiere obtener pH más alcalino, mayor será mayor la dosis de cal y también la generación de lodos.

#### 4.1.6. PRUEBA DE HIPÓTESIS

##### 4.1.6.1. Hipótesis General

- H1: La dosificación de lechada de cal en el agua de mina de la UM Huarón tiene efecto positivo en la remoción del manganeso.
- H0: La dosificación de lechada de cal en el agua de mina la UM Huarón no tiene efecto en la remoción del manganeso.

##### Decisión estadística:

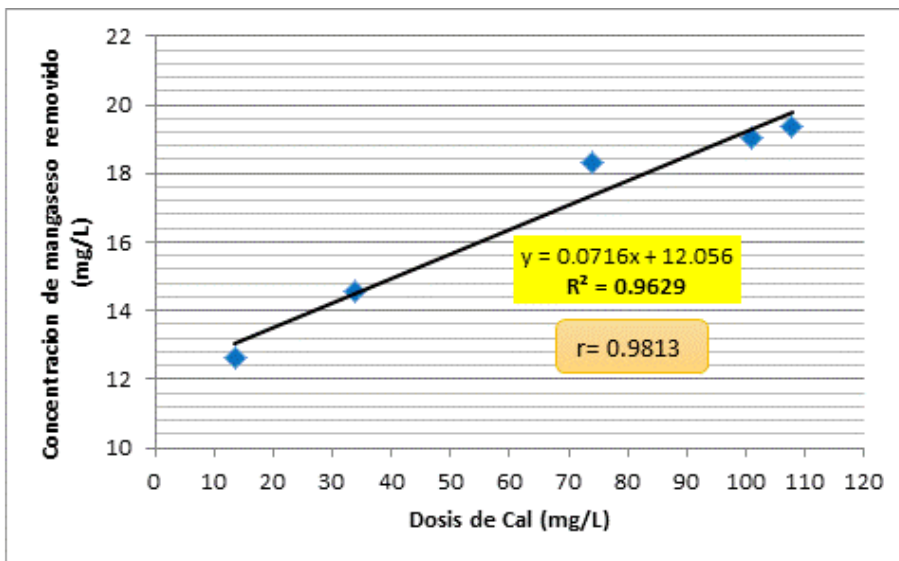
Efecto de la dosificación de lechada de cal → remoción de manganeso: comparación del efecto de una variable sobre otra ( $X \rightarrow Y$ ), según TRIOLA (42) asumiendo un grupo de datos muestrales, se comparará a dicho grupo con un valor hipotético y tomar una decisión, entonces corresponde si existe distribución normal a la prueba de t de Student o ANOVA y si no es normal la t de Wilcoxon; inicialmente se asumieron los entornos de distribución normal (Gauss), es decir, conocer si los datos mantienen una dispersión ideal y representatividad:

Tabla 14: Datos para la prueba de hipótesis general

| Código de Jarra | Dosis de cal (mg/L) | Concentración removido Cpretest-Cpostest (mg/L) |
|-----------------|---------------------|---|
| P-1             | 13.48               | 12.6165   |
| P-2             | 33.70               | 14.5674   |
| P-3             | 74.14               | 18.3424   |
| P-4             | 101.10              | 19.0198   |
| P-5             | 107.84              | 19.3915   |

Fuente: Elaboración propia

**Figura 20: Diagrama de dispersión de la dosis de cal y concentración removida de manganeso**



Fuente: Elaboración propia en Excel

- a. La prueba de distribución normal utilizada fue la de Shapiro-Wilk debido a que se cotejó y se tuvo una muestra menor a 50, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 15: Prueba de normalidad de la dosis de cal y concentración removida de manganeso**

|  | Tests of Normality              |    |                   |              |    |      |
|--|---------------------------------|----|-------------------|--------------|----|------|
|  | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |                   | Shapiro-Wilk |    |      |
|  | Statistic                       | df | Sig.              | Statistic    | df | Sig. |
| Dosis de cal (mg/L)                        | ,201                            | 5  | ,200 <sup>*</sup> | ,911         | 5  | ,471 |
| Concentraci3n de manganeso removido (mg/L) | ,297                            | 5  | ,173              | ,852         | 5  | ,201 |

\*. This is a lower bound of the true significance.  
a. Lilliefors Significance Correction

Fuente: Elaboración propia en el programa IBM-SPSS

Existe distribución normal frente a los siguientes supuestos:

- H0: Los resultados no presentan distribución normal (sig. < 0.05).
- Ha: Los resultados presentan distribución normal (sig. > 0.05).

Los valores de la significancia estadística (sig.) son: 0.471 y 0.201, las cuales son mayores que el valor crítico de prueba al 95% de nivel de confianza (0.05), donde se rechaza la H0; por tanto los resultados de la dosis de cal y la concentración de manganeso removido presentan distribución normal.

- b. Tras ello, si existe distribución normal se opta por la prueba de t de Student al 95% de nivel de confianza, alcanzando los siguientes resultados:

**Tabla 16: Prueba de t de Student para muestras relacionadas para la hipótesis general**

|        |  | Paired Samples Test |                |                 |   |          |       |    |                 |
|--------|--|---------------------|----------------|-----------------|---|----------|-------|----|-----------------|
|        |  | Paired Differences  |                |                 |   |          | t     | df | Sig. (2-tailed) |
|        |  | Mean                | Std. Deviation | Std. Error Mean | 95% Confidence Interval of the Difference |          |       |    |                 |
| Lower  | Upper  |                     |                |                 |   |          |       |    |                 |
| Pair 1 | Dosis de cal (mg/L) - Concentración de manganeso removido (mg/L) | 49,26448            | 38,42371       | 17,18361        | 1,55514                                   | 96,97382 | 2,867 | 4  | ,046            |

Fuente: Elaboración propia en el programa IBM-SPSS

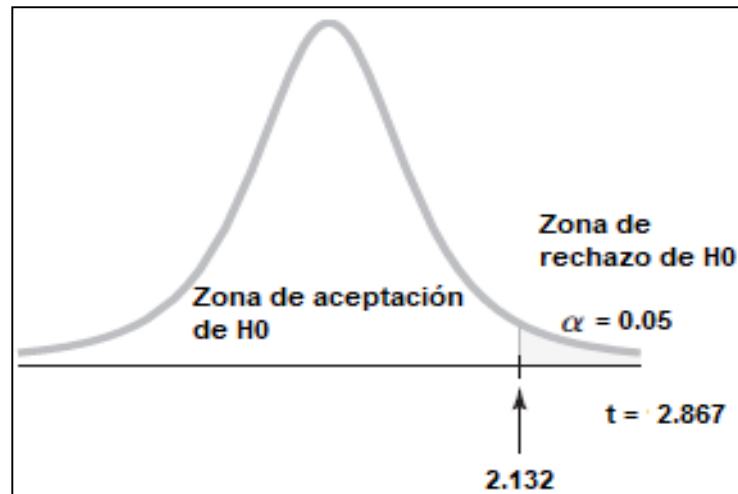
El valor obtenido se compara con la tabla de los apéndices del libro de TRIOLA para la prueba de t de Student:

**Tabla 17: Valores Críticos de t de Student**

| Grados de libertad | Área en una cola  |        |        |       |       |
|--------------------|-------------------|--------|--------|-------|-------|
|                    | 0.005             | 0.01   | 0.025  | 0.05  | 0.10  |
|                    | Área en dos colas |        |        |       |       |
|                    | 0.01              | 0.02   | 0.05   | 0.10  | 0.20  |
| 1                  | 63.657            | 31.821 | 12.706 | 6.314 | 3.078 |
| 2                  | 9.925             | 6.965  | 4.303  | 2.920 | 1.886 |
| 3                  | 5.841             | 4.541  | 3.182  | 2.353 | 1.638 |
| 4                  | 4.604             | 3.747  | 2.776  | 2.132 | 1.533 |
| 5                  | 4.032             | 3.365  | 2.571  | 2.015 | 1.476 |
| 6                  | 3.707             | 3.143  | 2.447  | 1.943 | 1.440 |
| 7                  | 3.499             | 2.998  | 2.365  | 1.895 | 1.415 |
| 8                  | 3.355             | 2.896  | 2.306  | 1.860 | 1.397 |
| 9                  | 3.250             | 2.821  | 2.262  | 1.833 | 1.383 |
| 10                 | 3.169             | 2.764  | 2.228  | 1.812 | 1.372 |
| 11                 | 3.106             | 2.718  | 2.201  | 1.796 | 1.363 |
| 12                 | 3.055             | 2.681  | 2.179  | 1.782 | 1.356 |
| 13                 | 3.012             | 2.650  | 2.160  | 1.771 | 1.350 |
| 14                 | 2.977             | 2.624  | 2.145  | 1.761 | 1.345 |
| 15                 | 2.947             | 2.602  | 2.131  | 1.753 | 1.341 |
| 16                 | 2.921             | 2.583  | 2.120  | 1.746 | 1.337 |
| 17                 | 2.898             | 2.567  | 2.110  | 1.740 | 1.333 |
| 18                 | 2.878             | 2.552  | 2.101  | 1.734 | 1.330 |
| 19                 | 2.861             | 2.539  | 2.093  | 1.729 | 1.328 |
| 20                 | 2.845             | 2.528  | 2.086  | 1.725 | 1.325 |

Fuente: Libro Estadística Décima Edición de TRIOLA (42)

Figura 21: Región crítica de la prueba t de Student de la hipótesis general



Fuente: Elaboración propia

**Conclusión estadística:** Se evidencia que el valor calculado ( $t=2.867$ ) es mayor que el valor crítico de prueba para 4 grados de libertad y un error de 0.05 correspondiente al 95% de nivel de confianza a una sola cola debido a que existe una relación directa-causal y no de proporciones (la cual corresponde a dos colas); por tanto se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), validando por defecto la hipótesis de investigación  $H_1$ : La dosificación de lechada de cal en el agua de mina de la UM Huarón tiene efecto positivo en la remoción del manganeso.

#### 4.1.6.2. Hipótesis Específica

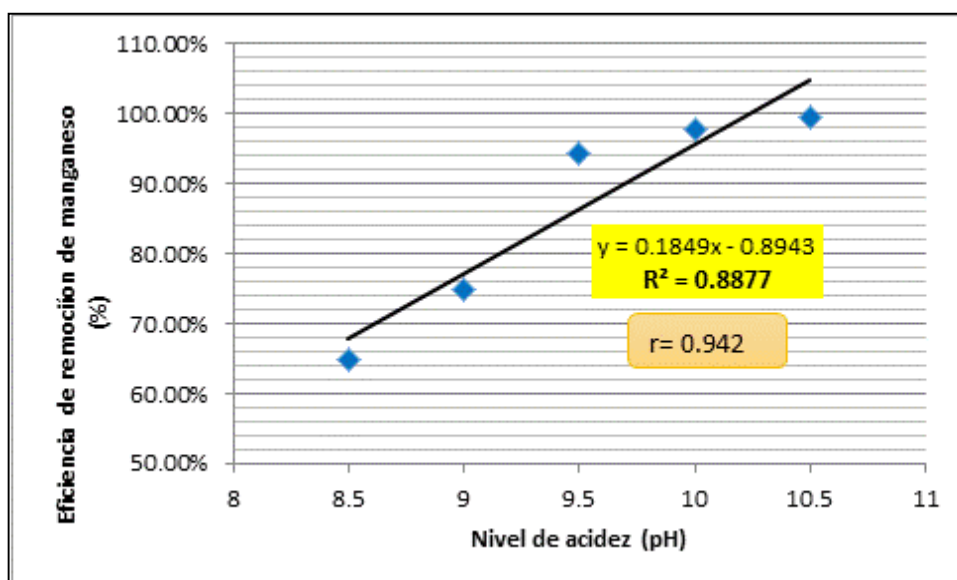
- $H_1$ : El nivel de acidez (pH) tiene relación directa con la eficiencia de remoción del Manganeso en el agua de mina de la UM Huarón 2018.
- $H_0$ : El nivel de acidez (pH) no tiene relación con la eficiencia de remoción del Manganeso en el agua de mina de la UM Huarón 2018.

Tabla 18: Datos para la prueba de hipótesis específica

| EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL MANGANESO (%) |      |                     |
|--|------|---------------------|
| Código de Jarra                          | pH   | % de remoción de Mn |
| P-1                                      | 8.5  | 64.78%              |
| P-2                                      | 9.0  | 74.80%              |
| P-3                                      | 9.5  | 94.19%              |
| P-4                                      | 10.0 | 97.66%              |
| P-5                                      | 10.5 | 99.57%              |

Fuente: Elaboración propia

Figura 22: Diagrama de dispersión del nivel de acidez (pH) y eficiencia de remoción del manganeso.



Fuente: Elaboración propia en Excel

#### Decisión estadística:

Relación del nivel de acidez (pH) → eficiencia de remoción del Manganeso: al tener el término relación, existe una comparación propiamente dicha, por tanto se aplica un entorno comparativo, correlacional o relacional, es decir una correlación, de igual manera que para el caso anterior, la decisión está relacionada a la distribución normal (si es normal aplica Pearson y si no lo es, Spearman):

Tabla 19: Prueba de normalidad del Manganeso postest y del pH

| Tests of Normality                       |                                 |    |       |              |    |      |
|--|---------------------------------|----|-------|--------------|----|------|
|  | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |       | Shapiro-Wilk |    |      |
|  | Statistic                       | df | Sig.  | Statistic    | df | Sig. |
| Nivel de acidez (pH)                     | ,136                            | 5  | ,200* | ,987         | 5  | ,967 |
| Eficiencia de remocion del manganeso (%) | ,297                            | 5  | ,173  | ,852         | 5  | ,201 |

\*. This is a lower bound of the true significance.  
a. Lilliefors Significance Correction

Fuente: Elaboración propia en el programa SPSS

Para el caso anterior, los valores obtenidos de la significancia estadística: 0.967 y 0.201 son mayores que el valor crítico de prueba (0.05). Por tanto, se valida que existe una distribución normal, a lo cual se aplica la prueba de correlación de Pearson, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 20: Prueba correlacional de Pearson para la hipótesis específica

| Correlations                             |                     |                      |  |
|--|---------------------|----------------------|--|
|  |                     | Nivel de acidez (pH) | Eficiencia de remocion del manganeso (%) |
| Nivel de acidez (pH)                     | Pearson Correlation | 1                    | ,942*                                    |
|  | Sig. (2-tailed)     |                      | ,017                                     |
|  | N                   | 5                    | 5  |
| Eficiencia de remocion del manganeso (%) | Pearson Correlation | ,942*                | 1  |
|  | Sig. (2-tailed)     | ,017                 |  |
|  | N                   | 5                    | 5  |

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Fuente: Elaboración propia en el programa SPSS

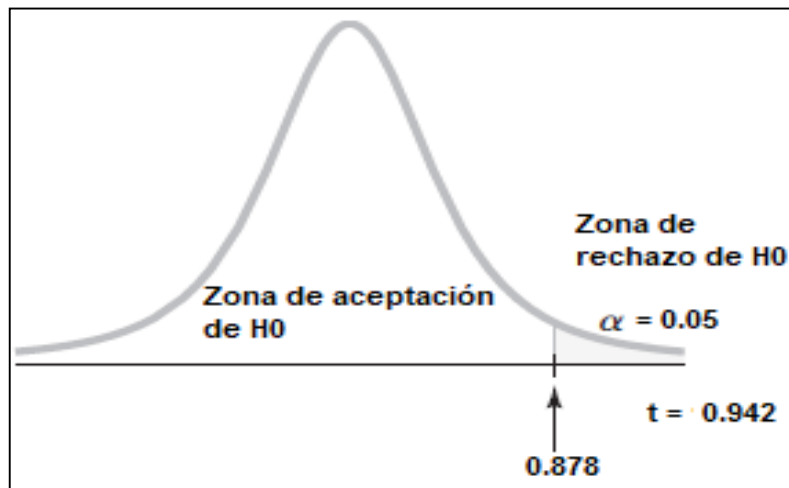
El valor obtenido se compara con la tabla de los apéndices del libro de TRIOLA para la prueba de correlación de Pearson.

Tabla 21: Valores críticos del coeficiente de correlación r de Pearson

| Valores críticos del coeficiente de correlación $r$ de Pearson |                |                |
|--|----------------|----------------|
| $n$  | $\alpha = .05$ | $\alpha = .01$ |
| 4  | .950           | .999           |
| 5  | .878           | .959           |
| 6  | .811           | .917           |
| 7  | .754           | .875           |
| 8  | .707           | .834           |
| 9  | .666           | .798           |
| 10   | .632           | .765           |
| 11   | .602           | .735           |
| 12   | .576           | .708           |
| 13   | .553           | .684           |
| 14   | .532           | .661           |
| 15   | .514           | .641           |
| 16   | .497           | .623           |
| 17   | .482           | .606           |
| 18   | .468           | .590           |
| 19   | .456           | .575           |

Fuente: Libro Estadística Décima Edición de TRIOLA (42)

Figura 23: Región crítica de la prueba correlacional de Pearson de la hipótesis específica.



Fuente: Elaboración propia

**Conclusión estadística:** Se evidencia que el valor calculado ( $r = 0.942$ ), recae en una zona de rechazo de  $H_0$  frente al valor crítico de prueba correspondiente a la tabla de TRIOLA ( $r = 0.878$ ), de modo que al tener una hipótesis de investigación específica para dicho objetivo se validaría

el H1: que el nivel de acidez (pH) tiene relación directa con la eficiencia de remoción del manganeso en el estudio; es decir, mientras más alcalino es el pH , se logra obtener mayor eficiencia de remoción(%).

## 4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La dosificación de lechada de cal influye en aumentar el pH y tiene efectos positivos en la remoción el manganeso del agua de mina, es decir a mayor dosis de lechada de cal el pH del agua es más alcalino y por ende la concentración del manganeso es menor. En esta investigación, con la dosificación de lechada alcanzando un pH de 8.0 se logró 6.8583mg/L de Mn mientras que alcanzando un pH de 10.5 se logró 0.0833mg/L de Mn removiendo el 99.57%. Al igual que en el trabajo de investigación DEL ÁGUILA: “Gestión de efluentes, tratamiento de aguas ácidas y precipitación de aluminio y manganeso en la planta de tratamiento de Empresa Minera Yanacocha” en los mismos pH logró obtener 8.72mg/L y 0.27mg/L de Mn, pero a un pH más alcalino que es 11 obtuvo 0.002mg/L de Mn removiendo el 99.99% (21). Así mismo en el trabajo de JIMENEZ “Eficiencia en la remoción el tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con lechada de cal de la UM Arasi-Puno” logró remover el manganeso con lechada de cal a un pH 8.35 el 97.9% (16). También en el trabajo de investigación de ACEVEDO; usó lechada cal y otros reactivos para poder lograr resultados de concentraciones de los metales que están por debajo de las normas vigentes LMP y ECA de agua (17). Por tanto, la dosificación de lechada de cal en las aguas de mina es un método óptimo para reducir la concentración del manganeso y otros metales, además que es de bajo costo y el más usado.

En la tabla N° 09, se muestra, los resultados de la caracterización del agua de mina en metales pesados, estando por debajo de los valores exigidos por el LMP; pero el metal Manganeso, siendo uno de los parámetros de exigencia futura del LMP, es vertido al cuerpo receptor Río San José en concentraciones altas (entre 2.931 y 4.073 mg/L) y tomando como referencia valores de normas nacionales (ECA 0.2mg/L) e internacionales sobrepasa, como se puede apreciar en la Tabla 11: BHUTAN (0.5mg/L) (28), CHILE (0.3mg/L) (29) y ECUADOR (31) Y ESTADOS UNIDOS (2 mg/L) (30). Después de la caracterización, se opta por un método de tratamiento para reducir la concentración del contaminante (manganeso) y generando menor impacto ambiental. Mediante el test de jarras se realizó las pruebas con lechada de cal que permitió que el pH se eleve a alcalino obteniendo resultados positivos en la reducción de la concentración del manganeso (Tabla 11) logrando que la concentración del manganeso final en la jarra P-5 de 0.0833 mg/L



cumpla con los valores de referencia de Límites Máximos Permisibles. Ello concuerda con los resultados obtenidos en el trabajo de investigación de ACEVEDO: utilizando el método HDS (Lodos de alta densidad) logrando un pH mayor a 10 se logró disminuir la concentración del manganeso a  $<0.01\text{mg/L}$  (17). Pero el parámetro pH sobrepasan los LMP por ello se debe investigar para regularizar el pH como también lo menciona el artículo científico de LORONA Y GOMEZ (13).

En el estudio, el nivel de acidez (pH) alcanzado con la dosificación de lechada de Cal tiene relación directa con la eficiencia de remoción del manganeso, tal como se puede observar en los resultados de la Tabla 13, cuando el pH va aumentando la eficiencia de remoción del manganeso es mucho mayor. Como se puede corroborar comparando los resultados de los trabajos de investigación de JIMENEZ Y PINILLOS con de BARRETO Y DEL AGUILA. En el trabajo de JIMENEZ (16): logra 97.9 % de eficiencia de remoción de manganeso con lechada de cal a un pH de 8.35 y de PINILLOS (1): logra 90% de eficiencia de remoción de los metales de estudio a un pH de 7.06, mientras que en trabajos de DEL ÁGUILA (21): logra 99.99% de eficiencia de remoción de manganeso a un pH de 11 y también BARRERO (18): a un pH de 12.87 logró 99.98% y 99.99 % de eficiencia de remoción de los contaminantes de estudio (hierro y cobre). Por tanto, el nivel de acidez (pH) tiene relación directa con la eficiencia de remoción del manganeso.

## CONCLUSIONES

1. Se determinó que la dosificación de lechada de cal tiene efectos positivos en la remoción del manganeso del agua de mina de la UM Huarón 2018; el cual fue de un 99.57% de remoción considerando un pH de 10.5 y una solución de lechada de cal de 3.2mL (que equivale a 107.84 mg/L de cal), de esta manera se logró mantener la concentración por debajo de los valores de referencia de las normativas nacionales e internacionales.
2. Se determinó el pH y la concentración del manganeso presente en el agua de mina de la UM Huarón 2018 sin dosificación de lechada de cal que fue de 7.96 y 19.4748mg/L respectivamente: por el pH obtenido se concluye que es de clase casi neutro o neutras a alcalinas y presentando alta concentración de manganeso que sobrepasa los valores de referencia de normas nacional e internacionales (ECA 0.2mg/L, BHUTAN 0.5mg/L y otros).
3. Así mismo se determinó el pH y la concentración del manganeso en el agua de mina con dosificación en diferentes dosis de lechada de cal a nivel de laboratorio (tabla 11). Por lo que se concluye que la dosificación óptima de lechada de cal para remover el manganeso del agua de mina de la UM Huarón y cumplir los valores de referencias de normas nacionales e internacionales es 3.2mL de lechada de cal al 3.37% (que equivale a 107.84 mg/L de cal), pero su pH sobrepasa; el cual es una de las recomendaciones. Y en un pH de entre 6.0 y 9.0 solo se logra una eficiencia de remoción entre 64.78% y 74.80%.
4. Se determinó la relación que tiene el nivel de acidez (pH) con la eficiencia de remoción del manganeso; concluyendo que la eficiencia de remoción de los metales pesados (Cu, Zn, Mn, etc.) está estrictamente relacionada de manera directa con el pH, ya que a medida que el pH es más alcalino la eficiencia de remoción de manganeso es mayor y viceversa como se puede evidenciar en los resultados en la tabla 13.

## **RECOMENDACIONES**

1. Realizar investigaciones para regularizar el pH entre 6.5 a 9.0 y de esta manera cumplir con la normativa ambiental LMP.
2. Realizar pruebas alcanzando pH superiores a 10.5 y ver el efecto en la remoción del manganeso y de los demás metales pesados.
3. Evaluar otras variables como factores climáticos (Temperatura, precipitación, etc.) y el tiempo de agitación y sedimentación para determinar si influyen o no en la remoción de metales pesados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pinillos Torres, Juan Armando. "Remoción de metales pesado de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste". s.l. : Universidad Nacional De Ingeniería, 2013.
2. Aduvire , Osvaldo . "Drenaje Ácido de Mina: Generación Y Tratamiento". Madrid : Instituto Geológico y Minero de España - Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente , 2006.
3. MINISTERIO DEL AMBIENTE. "Aprueban Limites Máximo Permisible para descarga de efluentes Líquidos de Actividades Mineras-Metalúrgicas". Perú : s.n., 2010.
4. Treatment of high-manganese mine water with limestone and sodium carbonate. Silva, Adarlene M., y otros, y otros. 2012, Vols. 20-30.
5. Blanca Quesada, Rodrigo . "Impacto de la minería en el Perú y alternativas al desarrollo". Universidad Cordova : s.n.
6. Echegaray Contreras, Ruth Katherine. "Remoción de Manganese con el método de Reducción-Alcalinización en las aguas contaminadas por los proceoss mineros en la Provincia de Huaral 2017". Huancayo : Repositorio Institucional Continental, 2018.
7. Diario LA RAZÓN . La Contaminación de Cerro de Pasco. 2005.
8. Manganese and limestone interactions during mine water treatment. Silva, A.M., y otros, y otros. 1 a3, 2010, Vol. 181.
9. Actualizacion sobre la investigación del Manganese. Grupo de Trabajo sobre el Manganese. Hinkley : s.n., 2013.
10. Lenntech , BV. Propiedades fisicoquímicas del Manganese-Efectos sobre la salud - efectos ambientales del Manganese. [En línea] [Citado el: 09 de Abril de 2019.] <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/mn.html>.
11. Lazo Corilloclla, Liz Raquel. "Remoción del manganese para mejorar la calidad de las aguas de consumo humano en la laguna Azulcocha". Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2012. 17.
12. Chen Lopez, José . La función del manganese en el cultivo de plantas. PROMIX. [En línea] [Citado el: 12 de Abril de 2019.] <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-manganese-en-el-cultivo-de-plantas/>.

13. "Propuesta de tratamiento para la eliminación del manganeso en la Planta de Neutralización de Aguas Ácidas, Victoria-Compañía Minera Volcan S. A. A, Perú." Loroña Calderón, Frank y Gomez Lora, Walter. 1, Perú : s.n., 2017, Vol. 5.
14. "Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica." Romero Aguilar, Mariana, y otros. 3, México : ISSN 0188-4999, 2009, Vol. 25.
15. JaviMad. pH. [En línea] 11 de Abril de 2019. [Citado el: 14 de Abril de 2019.] <https://es.m.wikipedia.org/wiki/PH>.
16. Jimenez Huallpa, Cynthia Candy. "Eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con lechada de cal de la Unidad Minera Arasi - Puno". s.l. : Universidad Peruana Unión, 2017.
17. Acevedo Luyo, Karol Ayme. "Tratamiento de aguas ácidas de drenaje de mina con alto contenido de aluminio y manganeso por tecnología de Lodos de Alta Densidad (HDS)". Lima : s.n., 2015.
18. "The Science of Treating Acid Mine Drainage and Smelter Effluents". Bernard Aubé, P. Québec, Canada : Envirobay Inc, 2004.
19. Barreto Baltazar, Leslis Humberto. "Efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón- La Libertad". s.l. : Universidad Cesar Vallejo, 2016.
20. Puga Bullón, José. Tratamiento de aguas en la industria minero-metalúrgica- Perú. [En línea] 2014. [Citado el: 11 de Abril de 2019.] <https://www.monografias.com/trabajos91/tratamiento-aguas-industria-minero-metalurgica/tratamiento-aguas-industria-minero-metalurgica.shtml>. s.n.
21. Del Águila Guadalupe, Néstor. "Gestión de Efluentes, Tratamiento de Aguas Ácidas y Precipitación de Aluminio y Manganeso en la Planta de Tratamiento de la Empresa Minera Yanacocha." Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2015. 113-114.
22. Diagramas de predominancia, de frost y de pourbaix: tres contextos para desarrollar competencias en roceos de óxido-reducción. Carriazo, J-G, Uribe Pérez, Marisol y Hernández Fandiño, O. 34, s.l. : Universidad Tecnológica de Pereira, 2007.

23. Flores Chávez , Silvana Luzmila, Zegarra Luna, Edison Gastulo y Tinoco Moleros , Oscar Eusebio. Proceso de tratamiento de neutralización y adsorción de efluentes minerometalúrgicos y aguas de minas con dolomita sin tratar y tratada. 2012. 29-30.
24. MGC/DHL. Laboratorio N° 2- Neutralización de aguas ácidas. San Miguel - Lima : s.n., 2014.
25. Tratamiento físico-químico. Proceso de carácter químico. 404-405.
26. Acid Mine Drainage Control And Treatment. Skousen, Jeffrey G., Alan, Sexstone y Ziem, Paul F. s.l. : Reclamation of Drastically Disturbed Lands , 2002, Vol. 41. 12.
27. Aguapedia. [En línea] [Citado el: 11 de Abril de 2019.] [http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/16581/mod\\_resource/content/0/lixiviados.3.pdf](http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/16581/mod_resource/content/0/lixiviados.3.pdf).
28. Comisión Nacional Ambiental de Bhutan. Estándares Ambientales: Límites Máximos Permisibles para descargas de efluentes industriales. Bhutan : s.n., 2010.
29. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Decreto 90: Establece Norma de Emision para la Regulación de Contaminantes Asociados a Las Descargas de Residuos Líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. Chile : s.n., 2001. s.n.
30. (EPA-U.S), ENVIRONMENTAK PROTECTION AGENCY. Desing Manual: Neutralization of Acid Mine Drainage. Chicago : United States, 1983. EPA-600/2-83-001.
31. República del Ecuador. Libro VI Anexo 1: Norma de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes : Recurso Agua. Ecuador : s.n.
32. Treatments for Removal of Heavy Metals Commonly Found in Industrial Wastewater. . Caviedes Rubio, Diego Ivan, y otros, y otros. 73-90, s.l. : Revista Ingeniería y Región, 2015, Vol. 13(1).
33. Oviedo, Rodrigo. Laboratorio Agua y Saneamiento SENA. [En línea] 27 de Mayo de 2015. [Citado el: 06 de Febrero de 2019.] <http://laboratoriosaguasena.blogspot.com/>.
34. Galindo Yantas, Giancarlo. “Determinación de la Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Yurajhuanca – Emapa Pasco”. Cerro de Pasco : s.n., 2018. 62-63.

35. Broughton, Linda. Protocolo de monitoreo de calidad de agua. Perú : República del Perú- Ministerio de Energía y Minas.
36. MINISTERIO DEL AMBIENTE. "Estándar de Calidad Ambiental de Agua - D.S. 004-2017-MINAM". Perú : s.n., 2017.
37. Mejia Cervantes, Liza Cristina. Pruebas Experimentales para el Tratamiento de la Contaminación de las Aguas Ácidas de la Laguna Yanamate, al emplear un Método Activo Y la Fitorremediación con la Finalidad de Cumplir El D.S. No. 015-2015-Minam. Cerro de Pasco : Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2018. 52.
38. Ard Schoemaker, y otros. Glosario Ambiental : Conociendo los términos ambientales usados en zonas mineras - Tomo 1: Caja de Herramientas Ambientales. Lima : Daniel Ochoa, 2017.
39. Arias , Fidias G. Introducción a la metodología científica- Sexta Edición. Caracas - República Bolivariana de Venezuela : Editorial Episteme, 2012.
40. Hernandez Sampieri, Roberto, Fernandez Collado, Carlos y Baptista Lucio, Maria Del Pilar. Metodología de la investigación. México : Sexta Edición, 2014. 128-129.
41. Campbell, D. y Stanley, J. Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social. Buenos Aires : Rand Mc Nally & Company., 1966.
42. Triola, Mario. Estadística. México D.F. : Pearson Education, 2012. 978-970-26-1287-2.

## **ANEXOS**



# ANEXO A: INFORME DE PARÁMETRO PH EN CAMPO



**BUREAU  
VERITAS**

Pág. 1/1


## INFORME DE ENSAYO N° 02-19-0084

Cliente : YENY DE LA CRUZ LIMA  
 Dirección : AV. GENERAL CORDOVA HUANCAN  
 Matriz : PARAMETROS DE CAMPO  
 Procedencia de la medición : Por el cliente  
 Referencia del Cliente : Agua Residual Industrial UM Huarón  
 Fecha de Inicio de medición : 2019-01-22  
 Fecha de Término de medición : 2019-01-22  
 Orden de Servicio : 01126-19/LMA

| Estación de Muestreo  | P-0        | P-1        | P-2        | P-3        | P-4        | P-5        |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Fecha de Muestreo     | 2019-01-22 | 2019-01-22 | 2019-01-22 | 2019-01-22 | 2019-01-22 | 2019-01-22 |
| Hora de Muestreo      | 09:00:00   | 09:05:00   | 09:10:00   | 09:15:00   | 09:20:00   | 09:25:00   |
| Parámetros calculados | Unidades   |            |            |            |            |            |
| Ph                    | --         | 7.96       | 8.5        | 9.0        | 9.5        | 10.00      |

Callao, 18 de Febrero de 2019.

Inspectorato Servicios Perú S.A.C.  
 A Bureau Veritas Group Company

  
 INC. FAVIER P. ACUNA CASACO  
 C.I.P. 130314  
 JEFE TÉCNICO COMERCIAL  
 DIVISION MEDIO AMBIENTE

**BUREAU  
VERITAS**

# ANEXO B: INFORME DE RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO BUREAU VERITAS DEL PERÚ S.A.



**BUREAU  
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 1 / 3

## INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 21714L/19-MA

|                                    |                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| ORGANISMO ACREDITADO               | : INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.  |
| REGISTRO DE ACREDITACIÓN           | : N° LE - 031                        |
| CLIENTE                            | : YENY DE LA CRUZ LIMA               |
| DIRECCIÓN                          | : AV. GENERAL CORDOVA HUANCAN        |
| PRODUCTO                           | : Agua residual                      |
| MATRIZ                             | : Agua residual industrial           |
| NÚMERO DE MUESTRAS                 | : 6                                  |
| PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS       | : Frascos de plástico                |
| PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS        | : Muestras enviadas por el cliente   |
| PROCEDIMIENTO DE MUESTREO          | : No Aplica                          |
| FECHA DE MUESTREO                  | : 2019-01-22                         |
| LUGAR DE MUESTREO                  | : Huayllay - Pasco - Pasco           |
| REFERENCIA DEL CLIENTE             | : Agua Residual Industrial UM Huarón |
| FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS | : 2019-01-25                         |
| FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO       | : 2019-01-25                         |
| FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO         | : 2019-02-01                         |
| ORDEN DE SERVICIO                  | : OS/L-19-01126                      |

Callao, 12 de Febrero de 2019

Inspectorate Services Perú S.A.C.  
A Bureau Veritas Group Company

Firmado Digitalmente por:  
EVELYN PATRICIA QUISPE LOROÑA  
DE SIERRA  
Fecha: 21/02/2019 09:15:54  
C.I.P. 98232  
JEFE DE LABORATORIO MEDIO AMBIENTE

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.  
No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.  
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.  
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 distrito del Callao, Provincia Constitucional del Callao - Perú  
Central : 51 (1) 3195100 Anexo 8055 / www.bureauveritas.com





BUREAU VERITAS

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 21714L/19-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Table with 7 columns: Estación de Muestreo, Fecha de Muestreo, Hora de Muestreo, Código de Laboratorio, Matriz, and P-0 to P-5.

Table with 4 columns: Ensayo, Unidad, L.C., L.D.

Metales Totales ICP-MS

Main data table with 10 columns: Element, Unit, L.C., L.D., P-0, P-1, P-2, P-3, P-4, P-5.



**BUREAU  
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 3

## INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 21714L/19-MA

### MÉTODOS DE ENSAYO

| ENSAYO  | NORMA DE REFERENCIA  |
|---|--|
| METALES TOTALES Y DISUELTOS EN AGUA POR ICP<br>MS: Al, Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Hg, Mo, Ni,<br>Se, Ag, Ti, Th, U, V, Zn. METALES TOTALES Y<br>DISUELTOS VALIDADOS: B, P, Sr, Li, Bi, Na, Ca, Ti, Sn,<br>Ce, Mg, Fe, K. | EPA Method 200.8, Revision 5.4 1999 Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma mass spectrometry |
| (*)METALES TOTALES Y DISUELTOS EN AGUA POR ICP<br>MS: Si.   | EPA 200.8, Revision 5.4 1999 Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma mass spectrometry        |

### MATRICES

| MATRIZ | DESCRIPCIÓN              |
|--------|--------------------------|
| ARI    | Agua residual industrial |

### NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en cooler, con refrigerante y preservadas.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL-DA

El presente informe de ensayo reemplaza al informe de ensayo N° 10875L/19-MA emitido el 01 de Febrero de 2019.

**BUREAU  
VERITAS**

# ANEXO C: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL PH-METRO.



Av. San Luis 2687 San Borja - Lima  
 Telef: (511) 653 3573 | e-mail: info@pidtecnologia.com  
 website: http://www.pidtecnologia.com

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Código: pH-PIDT-01  
 Página 1 de 1

Certificado N° : STM-1805-012-PIDT-PH

### DETALLE DEL SOLICITANTE :

Cliente : PAN AMERICAN SILVER HUARON S.A.  
 Dirección : AV. LA FLORESTA NRO. 497 INT. 301 LIMA - LIMA - SAN BORJA  
 Referencia : O/S N° 02032018000140

### DETALLES DEL INSTRUMENTO :

Tipo de Instrumento : Sensor de pH  
 Marca / Fabricante : YOKOGAWA  
 Modelo / N° Parte : FLEXA21  
 Número de Serie : C2U20577  
 Procedencia : BRASIL

### INFORME DE CALIBRACIÓN

#### ESPECIFICACIONES DEL INSTRUMENTO (\*):

Alcance/Rango : 0 - 14 Unid pH  
 Resolución : 0.02  
 Controlador : FLEXA21 (S/N: C2U05791)  
 Identificación Interna : INT. MINA

#### MÉTODO DE CALIBRACIÓN :

Procedimiento para la Calibración de medidores de pH PC-020 segunda edición junio 2017 INACAL-SNM

#### FECHA DE CALIBRACIÓN :

24/05/2018

#### LUGAR DE CALIBRACIÓN :

IN SITU - INTERIOR MINA NIVEL 250 - SAN JOSE

#### ADICIONES AMBIENTALES:

|                  |         |
|------------------|---------|
| Temperatura      | 11.5 °C |
| Humedad relativa | 59%     |

#### TRAZABILIDAD DE REFERENCIA:

| TRAZABILIDAD N.I.S.T.                      | N° DE LOTE |
|--|------------|
| Solución de referencia certificada 4.01 pH | 6GK498     |
| Solución de referencia certificada 7.01 pH | 6GK882     |

#### RESULTADOS:

| Indicación (pH) | valor de referencia (pH) | Error (pH) | incertidumbre (pH) |
|-----------------|--------------------------|------------|--------------------|
| 4.027           | 4.000                    | 0.027      | 0.017              |
| 7.100           | 7.000                    | 0.100      | 0.019              |

Nota: Los resultados de calibración del medidor de pH están dados a temperatura de referencia 25°C (CATM\*\*)

#### INCERTIDUMBRE:

La Incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la Medición". Generalmente, el valor de magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

#### OBSERVACIONES

- Los resultados del presente documento, son válidos únicamente para el objeto calibrado y se refieren al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones, al solicitante le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso, conservación y mantenimiento del Instrumento de medición.

- Serie de sensor de pH calibrado C2U20577

(\*) Indicado en el manual de instrucciones del fabricante.


(\*\*) Compensación automática por el controlador para la medición.

Fecha de Emisión  
 5/06/2018

Responsable de Medición



## ANEXO D: HOJA MSDS DEL ÓXIDO DE CALCIO

|   |                       |   |                |                   |
|---|-----------------------|---|----------------|-------------------|
|  |                       | <b>GERENCIA DE GESTIÓN DE OPERACIONES</b> |                | Fecha: 03-01-2015 |
| Hoja de Seguridad de óxido de calcio  | Código: SSOMA-OTR-001 | Revisión: 1                               | Página: 1 de 4 |                   |

### 1. INFORMACIÓN DEL PROVEEDOR Y PRODUCTO QUÍMICO

|   |                                |  |
|---|--------------------------------|--|
| <b>CALERA REBECA SRL</b><br>Av. San Sebastián N° 153 - Quiulacocha - Simón Bolívar<br>Sucursal Huarapampa S/N Quiulacocha- Simón Bolívar<br>Cerro de Pasco - Pasco<br>Perú. |                                | Información:<br>+51 975494511                        |
|   |                                | Fecha de Elaboración:<br>Enero 2014                  |
| Proveedor autorizado por Intendencia Nacional de Insumos Químicos y Bienes Fiscalizados- SUNAT para producción, uso venta y transporte de Oxido de Calcio.                  |                                | resolución de Intendencia SUNAT:<br>N° 3111190003312 |
| Nombre químico:<br>Oxido de Calcio  |                                | Nombre Comercial o Sinónimos:<br>Cal, cal viva.      |
| Formula Química:<br>CaO   | Peso Molecular:<br>56.06 g/mol | Familia Química:<br>Oxido de tierras alcalinas       |

### 2. COMPOSICIÓN Y LÍMITES DE EXPOSICIÓN

| Componentes Peligrosos | Concentración Aproximada (% en peso) | N° CAS     | Límites de Exposición (mg/m³)                                |                       |  |                          |
|------------------------|--------------------------------------|------------|--|-----------------------|--|--------------------------|
|                        |                                      |            | OSHA PEL (TWA 8/40h)   | ACGIH TLV (TWA 8/40h) | MSHA PEL (TWA 8/40h)   | Carcinógeno Status       |
| Oxido de Calcio        | > 90 %                               | 1305-78-8  | 5 (R)<br>10 (T)  | 2                     | 5 (R)<br>10 (T)  | NA                       |
| Oxido de Magnesio      | < 5%                                 | 1309-48-4  | 10   | 10                    | 10   | NA                       |
| Carbonato de Calcio    | < 3%                                 | 1317-65-3  | 5 (R)<br>15 (T)  | 10                    | 5 (R)<br>15 (T)  | NA                       |
| Dióxido de Sílice (1)  | < 2%                                 | 14808-60-7 | 10/(%SiO <sub>2</sub> )+2(R)<br>30/(%SiO <sub>2</sub> )+2(T) | 0.025 (R)             | 10/(%SiO <sub>2</sub> )+2(R)<br>30/(%SiO <sub>2</sub> )+2(T) | NTP/IARC: SI<br>OSHA: NO |


(1): La concentración de Cristales de Sílice en diferentes productos de cal variara de acuerdo a su origen, pudiendo ser < 0.1% en algunos productos.

(T): Polvos Totales; (R): Polvos respirables.

### 3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

|                              |                                   |   |                                  |
|------------------------------|-----------------------------------|---|----------------------------------|
| Estado Físico:<br>Sólido     | Olor:<br>Ligero a Tierra          | Apariencia: Polvo, trozos, blancos o levemente amarillento. | Gravedad específica:<br>3.2 -3-5 |
| Umbral de Olor (ppm):<br>NA  | pH Sol. Saturada:<br>12.4 a 25°C  | Solubilidad en agua (20 °C):<br>0.125/100g Sol. Saturada    | Densidad:<br>7.20-1130 Kg/m³     |
| Presión de Vapor (mm):<br>NA | Punto de ebullición (°C):<br>2850 | Punto de fusión (°C):<br>2580                               | Grado de evaporación:<br>NA      |

Este es una copia no controlada y es responsabilidad del usuario que corresponda al vigente en el Sistema Documentario de Calera Rebeca SRL. El documento original está firmado y custodiado por el Administrador de Documentos. Las copias controladas tienen en cada una de sus páginas un sello de color azul con la leyenda "COPIA CONTROLADA" y el "V°B°" del Administrador de Documentos.

|   |   |                       |                   |
|---|---|-----------------------|-------------------|
|  | <b>GERENCIA DE GESTIÓN DE OPERACIONES</b> |                       | Fecha: 03-01-2015 |
|   | Hoja de Seguridad de óxido de calcio      | Código: SSOMA-OTR-001 | Revisión: 1       |
|   |   |                       | Página: 2 de 4    |

#### 4. RIESGO DE EXPLOSIÓN Y FUEGO

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Inflamabilidad:<br>NO | Medio Exterior: El óxido de Calcio no se enciende, utilice material extintor apropiado para fuego circundante. |
|-----------------------|--|

**Procedimientos especiales contra incendios:** Evite usar agua, si es necesario para apagar otros materiales, ahogue el material para absorber el calor generado. (El contacto del óxido de calcio genera calor que podría incendiar materiales en contacto o cercanos como papel, cartón, etc.) Utilice protección respiratoria apropiada.

|                                 |                                |   |                                       |
|---------------------------------|--------------------------------|---|---------------------------------------|
| Pto. de inflamación:<br>NA (°C) | Temp. autoignición:<br>NA (°C) | Productos peligrosos de la Combustión:<br>Ninguno | Límites de inflamabilidad: NA (% vol) |
|---------------------------------|--------------------------------|---|---------------------------------------|

#### RIESGO DE EXPLOSION

|                        |                              |                        |   |
|------------------------|------------------------------|------------------------|---|
| Impacto Químico:<br>NA | Índice de Calcinación:<br>NA | Poder Explosivo:<br>NA | Sensibilidad a descarga estática:<br>NA |
|------------------------|------------------------------|------------------------|---|

#### 5. REACTIVIDAD

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Estabilidad Química:<br>NO | Absorbe humedad del ambiente y CO <sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) del aire para formar Hidróxido de Calcio y Carbonato de Calcio. |
|----------------------------|---|

|   |  |
|---|--|
| Incompatibilidad con otras sustancias: SI | Trifloruro de Boro, Trifloruro de Cloro, etanol, flúor, ácido fluorhídrico, pentóxido de fósforo, ácidos y agua. Reacción violenta con generación de calor y posibilidad de explosión en áreas confinadas. |
|---|--|

|                    |   |
|--------------------|---|
| Reactividad:<br>SI | Reacciona violentamente con ácidos fuertes generando calor y compuestos inflamables. Reacciona violentamente con agua sin generar compuestos peligrosos, sin embargo el calor generado puede encender materiales en contacto o cercanos como papel, tela, cartón. |
|--------------------|---|

|  |          |
|--|----------|
| Productos Peligrosos por Descomposición:<br>NO | Ninguno. |
|--|----------|

|   |  |
|---|--|
| Productos Peligrosos por Polimerización: NO | No ocurrirá polimerización bajo ninguna condición. |
|---|--|

#### 6. PROPIEDADES TOXICOLÓGICAS

Vías de absorción: Por contacto con la piel, ojos, mucosas en general, por ingestión o inhalación.


#### EFECTOS POR EXPOSICION PROLONGADA

|       |  |
|-------|--|
| Piel: | Irritación severa o quemaduras de la piel y mucosas, deshidrata la piel. |
|-------|--|

|       |  |
|-------|--|
| Ojos: | Quemaduras o irritación severa del ojo, lagrimeo intenso, posibles lesiones y ceguera cuando la exposición es por tiempos prolongados. |
|-------|--|

Esta es una copia no controlada y es responsabilidad del usuario que corresponda al vigente en el Sistema Documentario de Calera Rebeca SRL. El documento original está firmado y custodiado por el Administrador de Documentos. Las copias controladas tienen en cada una de sus páginas un sello de color azul con la leyenda "COPIA CONTROLADA" y el V°B° del Administrador de Documentos.



|   |                       |   |                |                   |
|---|-----------------------|---|----------------|-------------------|
|  |                       | <b>GERENCIA DE GESTIÓN DE OPERACIONES</b> |                | Fecha: 03-01-2015 |
| Hoja de Seguridad de óxido de calcio  | Código: SSOMA-OTR-001 | Revisión: 1                               | Página: 3 de 4 |                   |

#### 6. PROPIEDADES TOXICOLÓGICAS (continuación)

##### EFFECTOS POR EXPOSICIÓN PROLONGADA

|             |   |
|-------------|---|
| Inhalación: | Si es inhalado en forma de polvo genera irritación en las vías respiratorias, tos y estornudos; inflamación de la vías respiratorias, ulceración y perforación del tabique nasal, bronquitis, posible neumonía.   |
| Ingestión:  | Si se ingiere, genera edema y perforación del tracto digestivo, salivación abundante, dificultad al tragar y respirar, dolor, vomito con sangrado, diarrea, colapso, disminución en la presión sanguínea (lo cual indica perforación del esófago o estómago). |

##### EFFECTOS POR EXPOSICIÓN CRÓNICA

Dermatitis. Contacto prolongado continuo causa enrojecimiento, descamación y grietas en la piel. Si el producto contiene trazas de cristales de Sílice; una excesiva inhalación de polvo con estos cristales puede resultar en enfermedades respiratorias como silicosis, neumoconiosis y fibrosis pulmonar.

DL50 del producto (especie y vía):

Ca(OH)<sub>2</sub> grado alimenticio: 7340 mg/Kg (ratas, ingestión)

Irritación del producto:

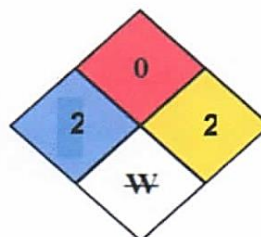
Severo en mucosas

#### 7. PRECAUCIONES PARA MANEJO Y USO SEGURO

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Equipo de Protección Personal (EPP): | Usar ropa limpia, guantes, pantalones largos sobre zapato o botas de seguridad, camisa de manga larga abotonada hasta el cuello, mameluco, mascarilla cara completa o media cara, protección auditiva y lentes adecuados a las condiciones de trabajo.                                    |
| Otros:                               | Después de manejar el producto, los empleados deben lavarse. Si la exposición es diaria utilizar aceites naturales, vaselina, crema, etc. para proteger la piel expuesta, particularmente, cuello, cara y muñecas. No usar lentes de contacto cuando se está en contacto con el material. |
| Controles de ingeniería:             | En áreas confinadas, utilizar ventilación completa (colectores de polvo) en puntos de manejo; mantener los niveles de polvo por debajo de los máximos permitidos.   |


Valoración NFPA

Grado de Salud: 2 (Medio)  
 Grado de Inflamabilidad: 0 (Mínimo)  
 Grado de Reactividad: 2 (Medio)  
 Específico: No use Agua




Esta es una copia no controlada y es responsabilidad del usuario que corresponda al vigente en el Sistema Documentario de Calera Rebeca SRL. El documento original está firmado y custodiado por el Administrador de Documentos. Las copias controladas tienen en cada una de sus páginas un sello de color azul con la leyenda "COPIA CONTROLADA" y el "V°B°" del Administrador de Documentos.



|   |   |                       |                   |
|---|---|-----------------------|-------------------|
|  | <b>GERENCIA DE GESTIÓN DE OPERACIONES</b> |                       | Fecha: 03-01-2015 |
|   | Hoja de Seguridad de óxido de calcio      | Código: SSOMA-OTR-001 | Revisión: 1       |

**7. PRECAUCIONES PARA MANEJO Y USO SEGURO (Continuación)**

|                  |   |   |
|------------------|---|---|
| Valoración WHMIS | D2A& D2B materiales que causan otros efectos tóxicos<br> | E (material corrosivo)<br> |
|------------------|---|---|

**8. MEDIDAS DE CONTROL**

|                                    |   |                        |                  |
|------------------------------------|---|------------------------|------------------|
| Derrames:                          | Limitar el acceso a personal entrenado. Utilizar aspiradoras industriales para derrames grandes, ventile el área.   |                        |                  |
| Disposición Final:                 | Transportar al área de desecho o confinamiento. Revisar las disposiciones locales.  |                        |                  |
| Equipo y procedimientos de manejo: | Evitar contacto con piel y ojos. Minimizar la generación de polvo. Utilizar goggles y en caso de ventilación insuficiente usar mascara anti polvo. Estaciones de regadera de seguridad y lavado de ojos deben estar disponibles en el área de manejo.   |                        |                  |
| Almacenaje:                        | Mantener en recipientes Sellados en un lugar frio, seco y bien ventilado, alejado de ácidos. El óxido de calcio es fuertemente alcalino se hinchara y generará calor cuando este húmedo y su envase podía estallar, los envases de óxido de calcio pueden ser peligrosos cuando están vacíos. No almacenar ni transportar en recipientes de aluminio. |                        |                  |
| Información de Transporte:         | Durante la transportación no debe entrar en contacto con agua nunca.  | Clase de Peligro:<br>8 | UN/NA:<br>UN1910 |

**9. PRIMEROS AUXILIOS**

|                     |   |
|---------------------|---|
| Piel:               | Cepillar cuidadosa y gentilmente la superficie del cuerpo para remover todos los restos de cal. Quitar la ropa contaminada. Rocíar el área contaminada con agua tibia por 15 o 20 minutos. Consultar a un médico si la irritación persiste.                     |
| Ojos:               | Lavar inmediatamente con agua tibia abundante, el ojo(s) contaminado por 15 o 20 minutos (Usar solución salina de preferencia). En caso de partículas pegadas al ojo o quemaduras recurrir al personal entrenado para primeros auxilios. Consultar a un médico. |
| Inhalación:         | Retirar la fuente de polvo o mover la victima hacia un lugar ventilado. Buscar atención medica inmediatamente. Si la victima no respira, dar respiración artificial.  |
| Consejos Generales: | Consulte a un médico para todas las exposiciones a excepción de eventos de inhalación menor.  |

Esta es una copia no controlada y es responsabilidad del usuario que corresponda al vigente en el Sistema Documentario de Calera Rebeca SRL. El documento original está firmado y custodiado por el Administrador de Documentos. Las copias controladas tienen en cada una de sus páginas un sello de color azul con la leyenda "COPIA CONTROLADA" y el "VB" del Administrador de Documentos.

ANEXO E: HOJA MSDS DEL FLOCULANTE MT- 6506

# MT - 6506

## HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

### Identificación de La Sustancia / Preparación y de la Compañía

|                          |                |
|--------------------------|----------------|
| Descripción del Producto | Poliacrilamida |
|--------------------------|----------------|

### Composición / Identificación de Componentes

| Ingredientes Peligrosos |             |       |             |                  |
|-------------------------|-------------|-------|-------------|------------------|
| COMPONENTE              | N° CAS      | %     | SIMBOLO CEE | FRASES DE RIESGO |
| Cloruro de Amonio       | 012125-02-9 | < 2.0 | Xn          | R: 22-36         |

### Identificación de peligros

|                  |
|------------------|
| Peligros Humanos |
| Ninguno          |

### Medidas de Primeros Auxilios

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Ingestión             | No se anticipa que el material sea lesivo por ingestión.<br>No son necesarias medidas especiales de primeros auxilios. |
| Contacto con la piel  | Lavarse inmediatamente con abundante agua y, si hubiera disponible, jabon  |
| Contacto con los ojos | Enjuagar inmediatamente con abundante agua durante por lo menos 15 minutos.  |
| Inhalación            | No se anticipa que el material sea lesivo por inhalación.<br>Retirar la victima al aire libre.                         |

### Medidas Contra Incendio

|                        |   |
|------------------------|---|
| Medios de extinción    | Utilizar agua, bióxido de carbono o un agente químico seco.   |
| Equipamiento protector | Los bomberos y otras personas que pudieran estar expuestas deben usar aparatos respiratorios independientes.                |
| Peligros especiales    | El polvo puede ser explosivo si se mezcla con el aire en proporciones críticas y en la presencia de una fuente de ignición. |

### Medidas de liberación accidental

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Precauciones personales  | Evítese el contacto con los ojos y la piel.<br>Los derrames son muy resbalosos cuando están mojados.   |
| Métodos para la limpieza | Resbaladizo cuando esta mojado.<br>Barrer y colocarlo en recipientes para descarte.<br>Enjuagar con agua el área del derrame.<br>Si permanece resbaladizo, aplicar mas compuesto para barrido en seco.<br>Evitar que el liquido ingrese a desagües sanitarios. |

 **MAGNATRADE CORP.**

**Manejo y Almacenamiento**

|                |   |
|----------------|---|
| Manejo         | Minimizar el polvo  |
| Almacenamiento | Para evitar la degradación del producto y la corrosión del equipo, no utilizar contenedores ni equipo de hierro, cobre o aluminio |

**Controles de exposición/protección personal**

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Parámetros de control - Límites | COMPONENTE : Cloruro de Amonio<br>No DE CAS : 012125-02-9<br>% : < 2.0<br>VALOR DE MAC : 10 mg/m3<br>20 mg/m3, STEL<br>REFERENCIA : OSHA |
| Medidas De Ingeniería           | Generalmente no hacen falta controles de ingeniera si se siguen buenas practicas de higiene.   |
| Protección Respiratoria         | En caso de escasa ventilación, usar un equipo respiratorio adecuado.   |
| Protección Para Los Ojos        | Usar protección ocular/facial.   |
| Protección De La Piel           | Usar guantes impermeables.   |
| Adicional                       | Antes de comer, beber o fumar, lavarse la cara y las manos minuciosamente con jabón y agua.  |

**Propiedades Físicas y Químicas**

|                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Color                                 | Teñido blanco            |
| Estado de Material                    | Granular solido          |
| Olor                                  | Inodoro                  |
| Punto de ebullición                   | No aplicable             |
| Punto de Fusión                       | No se dispone            |
| Presión de Vapor                      | No se aplica             |
| Gravedad Especifica                   | -0.75                    |
| Densidad de Vapor                     | No se aplica             |
| % Volátil (por peso)                  | 10 - 15 (Agua)           |
| pH                                    | 5 - 7 (Solución acuosa)  |
| Tasa de Evaporación                   | No se aplica             |
| Solubilidad en Agua                   | Límite por la viscosidad |
| Punto de Inflamación                  | No es aplicable          |
| Límites de Inflamabilidad (% por Vol) | No es aplicable          |
| Temperatura de Auto ignición          | No disponible            |
| Temperatura de Descomposición         | No disponible            |

**Estabilidad y Reactividad**

|   |  |
|---|--|
| Estabilidad                               | Estable  |
| Condiciones a evitar                      | No se conoce ninguno   |
| Materiales a evitar                       | Agentes oxidantes fuertes  |
| Productos peligrosos de la descomposición | dióxido de carbono; monóxido de carbono; amoniaco, óxidos de nitrógeno |

**Información Toxicológica****Clasificación de sustancia / preparación de la CEE**

|                                   |                   |                          |
|-----------------------------------|-------------------|--------------------------|
| DL50 Oral (rata)                  | No se aplica      | > 5000 mg/kg (estimado)  |
| DL50 Dermal (conejo)              | No se aplica      | > 10000 mg/kg (estimado) |
| CL50 Inhalación (rata de 4 horas) | No se aplica      | 720.0 mg/L               |
| Irritación de la piel (conejo)    | No irritante      |                          |
| Irritación de los ojos (conejo)   | No irritante      |                          |
| Sensibilización Dermal            | No sensibilizante |                          |
| Sensibilización de la Inhalación  | No sensibilizante |                          |
| Prueba Salmonella Ensayo          | No hay datos      |                          |

**Efectos potenciales para la salud**

Ninguno

**Datos sobre la toxicidad de los ingredientes peligrosos**

012125-02-9 Cloruro de amonio

| Tipo                         | Ruta   | Especie | Resultados  | Evaluación   |
|------------------------------|--------|---------|-------------|--------------|
| DL50 Aguda (actual)          | Oral   | Rata    | 1650 mg/kg  | Nocivo       |
| DL50 Aguda (actual)          | Dermal | conejo  | >2000 mg/kg | No se aplica |
| Irritación Dermal aguda      |        |         |             | No irritante |
| Irritación de los ojos Aguda |        |         |             | No irritante |

**Información Ecológica****Evaluación**

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Resultados de pruebas</b> | Pez luna de agalla azul ( <i>Lepomis macrochirus</i> ), CL50 de 96 horas: >1000 mg/L.<br>Trucha arco iris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ), CL50 de 96 horas: 750 mg/L<br>Carpa cabeza gorda ( <i>Pimephales promelas</i> ), CL50 de 96 horas: >1000 mg/L<br>Pulga de Agua ( <i>Daphnia magna</i> ), CE50 de 48 horas: >1000 mg/L<br>Pulga de Agua ( <i>Ceriodaphnia dubia</i> ), CE50 de 48 horas: 600 mg/L<br>Coeficiente de Partición de Octanol/H2O: No disponible |
|------------------------------|--|

**Consideraciones de Disposición**

Deben observarse todas las reglamentaciones locales y nacionales.



**Información de Transporte**

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| <b>ADR/RID</b>                                     |                                    |
| No es aplicable                                    |                                    |
| <b>INFORMACION SOBRE EMBARQUES INTERNACIONALES</b> |                                    |
| <b>IMO</b>   |                                    |
| Nombre del empaque                                 | No es aplicable / no esta regulado |
| Clase de peligro                                   | No es aplicable                    |
| Clase subsidiaria                                  | No es aplicable                    |
| Numero de la ONU                                   | No es aplicable                    |
| Grupo de embalaje                                  | No es aplicable                    |
| Rotulo de transporte exigido                       | Ninguno requerido                  |
| <b>ICAO/IATA</b>                                   |                                    |
| Nombre de empaque                                  | No es aplicable                    |
| Clase de peligro                                   | No es aplicable                    |
| Clase subsidiaria                                  | No es aplicable                    |
| Numero de la ONU                                   | No es aplicable                    |
| Grupo de embalaje                                  | No es aplicable                    |
| Rotulo de transporte exigido                       | Ninguno requerido                  |
| <b>INFORMACION ADICIONAL DE TRANSPORTE</b>         |                                    |
| Nombre técnico (N.E.O.M.):                         | No es aplicable                    |

**Información Reglamentaria**

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| <b>MARCADO Y ROTULACION DEL CEE:</b> |  |
| Simbolo                              | Ninguno exigido  |
| Frases de riesgo                     | Ninguno  |
| Frases de seguridad                  | S24/25 Evítese el contacto con los ojos y la piel.<br>S82 Los derrames son muy resbalosos cuando están mojados.  |
| <b>INFORMACION DE INVENTARIO</b>     |  |
| CEE EINECS                           | Todos los componentes de este producto se incluyen en el Inventario Europeo de Sustancias Químicas Existentes (sigla en ingles EINECS) en cumplimiento con la Directiva del Consejo 67/548/EEC y sus modificaciones. |
| US TSCA                              | Este producto se fabrica en cumplimiento de todas las disposiciones del Acta de Control de Sustancias Toxicas, 15 U.S.C. 2601 et. seq.   |
| CANADA DSL                           | Componentes de este producto han sido reportados a Environment Canadá de acuerdo con la subseccion 25 del Acto de Protección de Canadian environmental y están incluidas en la Lista de Sustancias Domesticas.       |

 **MAGNATRADE CORP.**

## ANEXO F: PANELES FOTOGRÁFICOS



Fotografía 01: Punto de muestreo de agua para el estudio (PN-01).



**Fotografía 02: Recolección de muestras en campo (interior Mina)**



**Fotografía 03: Recolección de muestras en campo (interior Mina)**