

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



**T E S I S**

**Remoción de manganeso empleando el método de reducción  
alcalinización en pruebas a nivel de laboratorio en aguas  
contaminadas por las actividades mineras de la Región Pasco**

**Para optar el título profesional de:  
Ingeniero Metalurgista**

**Autor:**

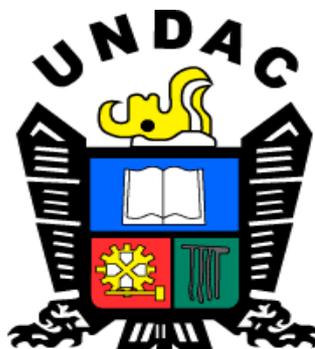
**Bach. Anthony Brayam MARTINEZ CAJAMARCA**

**Asesor:**

**Dr. Luis Villar REQUIS CARBAJAL**

**Cerro de Pasco – Perú – 2023**

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



**T E S I S**

**Remoción de manganeso empleando el método de reducción  
alcalinización en pruebas a nivel de laboratorio en aguas  
contaminadas por las actividades mineras de la Región Pasco**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA**  
**PRESIDENTE**

---

**Dr. Ramiro SUICE BONIFACIO**  
**MIEMBRO**

---

**Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCÍA**  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por el amor que me brindan  
y porque creen en mi desde siempre.

Gracias a sus sacrificios y soporte que  
hicieron posible el éxito.

## **AGRADECIMIENTO**

Muchas gracias Dr. Luis Requis Carbajal por ser parte de esta iniciativa de investigación, por brindarme su seguridad y darme todo el acompañamiento necesario para que esta misión se cumpliera.

A mis profesores doctores: Hildebrando Anibal Condor García, Eduardo Mayorca Baldoceca, Rubén Palomino Isidro, Antonio Blas Arauco, José Castillo Montalvan, Ramiro Siuce Bonifacio y a los demás maestros de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalurgia mentores, por su dedicación y pasión por la enseñanza y por guiarme en mi camino de realizarme como ingeniero metalurgista.

## RESUMEN

Una buena alternativa de solucionar el problema de contenido de manganeso en las aguas residuales proveniente de la minería en la provincia y región de Pasco, es realizar una caracterización y evaluación previa de los lugares donde se presenta altas concentraciones de manganeso, para determinar y tomar medidas preventivas y de control frente a este problema.

En la actualidad todavía no existe los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas. para el manganeso de vertimiento al cuerpo receptor dentro de lo dispuesto en el DS. N° 010-2010-MINAM (Loroña & Gómez, 2017). En el año 2017 se publica los Estándar de Calidad Ambiental para agua fue aprobada por D.S. N° 004-2017-MINAM, en el cual se reglamenta el parámetro de manganeso y entra en vigencia a finales del año 2021, donde se contempla el Límite de concentración de manganeso que no debe superar < 0.2 mg/L.

Se realizaron experimentos de absorción de manganeso, en 6 muestras a diferentes concentraciones de: 271.37, 141.06, 135.68, 22.53, 16.54 y 18.80 mg/L al emplear soluciones alcalinas empleando CaO en medios de pH de 7, 8, 9, 10, 11 y 12, en pruebas de jarras, se hicieron en un tiempo 30 min y agitación constante de 100 rpm a temperatura ambiente de 14 °C. Los resultados de capacidad de absorción máxima muestran que el mejor resultado se logra un pH de 10, cuya disminución del manganeso en el agua tratada los valores de porcentaje que van de 99.2 % a 99.9 % del total de su concentración, cumpliendo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) D.S. No 004.2017-MINAN para Agua Categoría 3: D1 y D2, en el cual nos señalan que el límite debe ser < 0.2 mg/L y los resultados obtenidos fueron iguales y en algunos casos menores como los mostrados a continuación de: 0.202, 0.040, 0.081, 0.175, 0.067 y 0.013 mg/L respectivamente.

**Palabras clave:** Remoción, Manganeso, medio alcalino, agua industrial.

## ABSTRACT

A good alternative to solve the problem of manganese content in wastewater from mining in the province and region of Pasco, is to perform a prior characterization and evaluation of the places where there are high concentrations of manganese, to determine and take preventive and control measures against this problem.

Currently, there are still no maximum permissible limits for the discharge of liquid effluents from mining-metallurgical activities for manganese discharged into the receiving body within the provisions of the DS. N° 010-2010-MINAM (Loroña & Gómez, 2017). In 2017, the Environmental Quality Standards for water was published was approved by D.S. N° 004-2017-MINAM, which regulates the manganese parameter and comes into force at the end of 2021, where the Limit of manganese concentration that should not exceed  $< 0.2$  mg/L is contemplated.

Manganese absorption experiments were carried out on 6 samples at different concentrations of: 271.37, 141.06, 135.68, 22.53, 16.54 and 18.80 mg/L using alkaline solutions employing CaO in pH media of 7, 8, 9, 10, 11 and 12, in jar tests, were performed in a time of 30 min and constant agitation of 100 rpm at room temperature of 14 °C. The results of maximum absorption capacity show that the best result is achieved a pH of 10, whose decrease of manganese in treated water percentage values ranging from 99.2 % to 99.9 % of its total concentration, complying with the Environmental Quality Standards (ECA) D. S. No 004.2017-MINAN for Water Category 3: D1 and D2, in which they point out that the limit should be  $< 0.2$  mg/L and the results obtained were equal and in some cases lower as shown below: 0.202, 0.040, 0.081, 0.175, 0.067 and 0.013 mg/L respectively.

Key words: Removal, Manganese, alkaline medium, industrial water.

## INTRODUCCIÓN

El drenaje ácido de mina (AMD) causa en muchas partes del mundo una grave contaminación ambiental debido a su alto contenido de metales pesados y su elevada acidez (Gray, 1998). Los metales pesados, incluidos Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn, tienen el potencial de convertirse en importantes fuentes de contaminación y, a menudo, son extremadamente perjudiciales para los entornos hídricos y del suelo (Anju y Banerjee, 2010, Kim et al., 2009).

En los últimos años, se han desarrollado varios métodos para tratar los AMD, como la precipitación química, la extracción con disolventes, la ósmosis inversa, la ultrafiltración, la electrodiálisis, el intercambio iónico/adsorción y los tratamientos de humedales. La cal se ha utilizado comúnmente en el tratamiento de AMD como un medio que permite la neutralización y la precipitación al emplear la metodología de la precipitación química (Pepe et al., 2007). Sin embargo, las investigaciones de precipitación de metales solo se han llevado a cabo en un intento de reducir las concentraciones de metales por debajo de los límites máximos permisibles (LMP) para emisión de aguas residuales industriales contaminación secundaria como resultado del procedimiento de tratamiento a través de la disolución de hidróxidos metálicos y la liberación de metales pesados del lodo en el entorno de pH bajo, sin tomar en cuenta los requisitos actuales sobre los estándares de calidad ambiental del agua (ECA). Introducido en el 2017.

Entonces podemos afirmar que si valió la pena considerar la recuperación de estos metales. La precipitación selectiva ha sido probada para la recuperación del metal de las aguas residuales industriales (Mauchauffée y Meux, 2007), la solución de lixiviación de residuos (Innocenzi y Vegliò, 2012) y las aguas residuales de la mina (Hammack y Edenborn, 1992, Hammack et al., 1994). Los mecanismos de precipitación selectiva se basan en la diferencia entre los productos de solubilidad de los compuestos metálicos (Mauchauffée y Meux, 2007). Los precipitadores comúnmente utilizados como incluyentes son: hidróxidos de calcio y sodio, sulfuro de

sodio y decanoato de sodio (Jameson et al., 2010, Mauchauffée et al., 2008, Michalkova et al., 2007, Tokuda et al., 2008).

## INDICE

|                |  |
|----------------|--|
| DEDICATORIA    |  |
| AGRADECIMIENTO |  |
| RESUMEN        |  |
| ABSTRACT       |  |
| INTRODUCCIÓN   |  |
| INDICE         |  |

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

|  |   |
|--|---|
| 1.1. Identificación y determinación del problema ..... | 1 |
| 1.2. Delimitación de la investigación .....            | 6 |
| 1.3. Formulación del problema.....                     | 7 |
| 1.3.1. Problema general .....                          | 7 |
| 1.3.2. Problemas específicos.....                      | 7 |
| 1.4. Formulación de objetivos .....                    | 8 |
| 1.4.1. Objetivo General.....                           | 8 |
| 1.4.2. Objetivos específicos.....                      | 8 |
| 1.5. Justificación de la investigación .....           | 8 |
| 1.6. Limitaciones de la investigación.....             | 9 |

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

|   |    |
|---|----|
| 2.1. Antecedentes de estudio .....        | 10 |
| 2.2. Bases teóricas – científicas.....    | 19 |
| 2.3. Definición de términos básicos ..... | 33 |
| 2.4. Formulación de hipótesis .....       | 37 |

|   |    |
|---|----|
| 2.4.1. Hipótesis General .....                              | 37 |
| 2.4.2. Hipótesis específica .....                           | 37 |
| 2.5. Identificación de variables.....                       | 37 |
| 2.5.1. Variable Independiente .....                         | 37 |
| 2.5.2. Variable Dependiente .....                           | 37 |
| 2.6. Definición operacional de variables e indicadores..... | 38 |

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

|   |    |
|---|----|
| 3.1. Tipo de Investigación .....  | 39 |
| 3.2. Nivel de investigación .....   | 39 |
| 3.3. Métodos de investigación .....   | 40 |
| 3.4. Diseño de investigación .....  | 40 |
| 3.5. Población y muestra .....  | 41 |
| 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....                             | 42 |
| 3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación ..... | 43 |
| 3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....                              | 43 |
| 3.9. Tratamiento estadístico.....   | 44 |
| 3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.....                                  | 45 |

### **CAPITULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

|   |    |
|---|----|
| 4.1. Descripción del trabajo de campo.....                      | 47 |
| 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados..... | 52 |
| 4.3. Prueba de Hipótesis.....                                   | 56 |
| 4.4. Discusión de resultados.....                               | 57 |

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## INDICE DE IMÁGENES

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 1. Desmontes en bocamina Don Paco .....  | 5  |
| Ilustración 2. Etapas en la Formación del ARD (INAP, 2009).....  | 21 |
| Ilustración 3: Fuentes de drenaje (ácido, neutro o salino), zonas de flujo preferente y elementos de caracterización de la hidrología de botaderos (Amphos 21, cortesía D. Arcos). ..... | 25 |
| Ilustración 4: Diagrama de pourbaix del manganeso.....   | 29 |
| Ilustración 5. Experimento. Aspecto del agua tras la ozonización y tras la filtración del manganeso: (ASP Asepsia) .....   | 30 |
| Ilustración 6: Efecto del pH en la oxidación del ión manganeso (para COD < 1 mg/l), tiempo de reacción en segundos (Del Águila Guadalupe, 2015) .....                                    | 31 |
| Ilustración 7: Diagrama de flujo de las etapas de la investigación.....  | 41 |
| Ilustración 8: Mesa de preparación de muestras.....  | 47 |
| Ilustración 9: Prueba de jarras para la remoción de manganeso.....   | 48 |
| Ilustración 10: Se aprecia el uso del equipo para las pruebas de Jarras en pleno funcionamiento .....  | 50 |
| Ilustración 11: Preparación de las muestras a través del ataque químico .....  | 51 |
| Ilustración 12: Sala de absorción atómica para obtener los resultados .....  | 51 |
| Ilustración 13: Se muestra aguas con alto concentraciones de Manganeso y después del tratamiento realizado con la adición de cal.....  | 53 |
| Ilustración 14: Resultados de Monitoreo y ECA del agua.....  | 54 |
| Ilustración 15: Muestras del efecto del pH en la remoción de manganeso .....   | 55 |
| Ilustración 16: Eficiencia de remoción de manganeso a un pH de 10.....   | 58 |
| Ilustración 17. Área del estudio del Proyecto .....  | 14 |
| Ilustración 18. Relavera de la Empresa Cero SAC.....   | 15 |
| Ilustración 19. Intercepción de las aguas del rio Ragra y las aguas de la relavera Quiulacocha.....  | 15 |

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 20. Rio Ragra cerca al poblado de Sacrafamilia y los vertimientos de las aguas de la empresa Aurex SA..... | 16 |
| Ilustración 21: Realizando toma de muestra de agua del rio Ragra .....   | 16 |
| Ilustración 22: Mina Don Paco, explotación de calizas para la producción de cal .....                                  | 17 |
| Ilustración 23: Planta Santa Rita y Lucero (Simón Bolívar) condición actual inactivo .                                 | 17 |

## INDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla N°01. Resultado del monitoreo del agua del rio San Juan.....  | 5  |
| Tabla N°02. Tipos de drenajes de mina (Skousen, Sexstone, & Ziemkiewicz, 2000) .  | 23 |
| Tabla N°03. Estandares de Calidad Ambiental agua, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales .....  | 33 |
| Tabla N°04. Remoción de manganeso empleando el método de reducción- alcalinización en pruebas a nivel de laboratorio en aguas contaminadas por las actividades mineras de la región Pasco ..... | 38 |
| Tabla N° 05. Postest de los ensayos a realizar con los equipos de jarras .....  | 42 |
| Tabla N°06. Equipos, materiales y reactivos usados en el experimento.....   | 44 |
| Tabla N°07. Resultados de los ensayos de absorción atómica antes de realizar las pruebas de jarra.....  | 52 |
| Tabla N° 08. Resultados de los ensayos de absorción atómica de la prueba de jarra al suministrar la cal .....   | 54 |
| Tabla N° 09. Estadística descriptiva de las muestras .....  | 55 |
| Tabla N° 10. Prueba de hipótesis para muestras independientes .....   | 56 |
| Tabla N° 11. Ficha técnica de la empresa comercializadora de Cal .....  | 8  |

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

El mundo estero se encuentra en crisis. Esto por consecuencia de que se genera riqueza y bienestar basado en nuestro territorio, la biosfera y pueblos originarios que trajeron diversos costos sociales y ambientales perjudiciales. Entre estos se destacan los desequilibrios hídricos, la pérdida irreversible de la biodiversidad, ecosistemas acuáticos y terrestres degradados, y reportes de efectos negativos sobre la población local que se encuentra expuesta a diferentes actividades industriales extractivas que está asentadas muchos años.

La huella ambiental relacionada a la actividad por ejemplo de minería estuvo hace poco en el escrutinio público y privado, a pesar de que se implementó de manera gradual diversas tecnologías que visen reducir la huella hídrica, ecología y energética, la minería se expandió demasiado en las últimas décadas haciendo que este tema se torne controversial nacionalmente e internacional.

Enormes cantidades de basura que contienen sustancias químicas invisibles terminan dentro de arroyos, lagos, ríos y por último alcanzan los océanos. El agua contaminada en conjunto con la sequía, la ineficiencia en ser tratado e incremento poblacional contribuyen a que se tenga la crisis del agua

dulce, el cual amenaza a diversas fuentes de las que se dependen para tener agua potable y realizar diversas actividades (Christina, 2022).

El 2009, se generó la preocupación por la presencia de metales pesados dentro de aguas que eran descartados de instalaciones de industria y minería, y fue más álgido en países que están en desarrollo y que buscan la industrialización. La comunidad científica viene demostrando que metales como el Mn, Cd, Pb, y Zn están entre los que tienden a afectar más la salud, principalmente sobre áreas mineras.

El manganeso (Mn), es considerado como contaminante dado que su presencia en el agua es difícil a ser eliminada debido a su elevada solubilidad en un rango de pH bastante amplio, siendo un desafío vital para la mayoría de la industria minera (Loroña Calderón & Gomez Lora, 2017).

El Mn disuelto en el agua ocurre de manera natural en aguas que provienen de la parte subterránea o mineral. Tal presencia si supera una data concentración se torna en un contaminante que pueda generar que el agua no tenga las condiciones óptimas para que se use en lo previsto. El Mn como límite en agua de consumo humano está limitado a 50 µg/L.

Otro aspecto para considerar es que cuando ocurre la contaminación del agua estos son más notorios donde se encuentra la zona de vertimiento o descarga industrial a cuerpos/cursos de agua, en donde existe alguna actividad minera que se caracteriza por su actividad de beneficio, las cuales se ubican sobre áreas lejanas o que estos se trasladen a lugares lejos para ser arrojados o para ser tratados, así, cuando entren en contacto con el agua no contengan muchos metales que puedan disolverse y generar acidez, este problema no fue tomado en cuenta por ingenieros o empresarios en el siglo XX, haciendo que los daños de hoy en día se tornen sistemáticos, algo que fue reportado por diversos casos informando ello. Como fue revelado en diferentes regiones se emplearon

técnicas de hidrometalurgia y pirometalurgia, para lo cual fue inevitables arrasar con extensas áreas de bosque (Folchi, 2005).

Además, es presentado el escenario que pasaron diferentes mineras de tajo abierta y subterráneas acerca los problemas generados a través de sus aguas ácidas que llegaron a contaminar. Es vital revelar que el suelo, agua (superficial y subterráneo) fueron los que se vieron más afectados como consecuencia del drenaje ácido. Esto porque tienen la capacidad de modificar el potencial de hidrogeno (pH), que hace que el agua tenga una mayor capacidad para que disuelva los metales como Mn, As, Zn, Ni, Fe, etc. En función de ello, podría tenerse una degradación más significativa del ecosistema o hacer que el agua se torne inviable a que se pueda consumir o sea usada para alguna actividad común, sea urbano o industrial, dado que tiene una característica de ser corrosiva que podría actuar sobre el hormigón y los metales (Parada et al., 2018).

En tales actividades mineras, es difícil degradar los desechos liberados de los relaves, mineras abandonadas o pasivos ambientales, dado que estos logran contaminar las aguas superficiales y subterráneas, suelos y también los ecosistemas marinos y terrestres. En el caso de los marinos por ejemplo los consumibles también como los peces, y del suelo los productos agrícolas, además de lo peligroso que sería consumir esto la población que vive cerca a alguna minera. El que se encuentren presentes estos metales y su elevada toxicidad hacen que su peligrosidad y potencial hagan que se dé impactos ambientales más severos y agraven la salud de las personas.

A partir del 2017, el Ministerio de Salud (MINSA) de Perú reportó presencia de altos niveles de contaminantes en las aguas de la cuenca de Cerro de Pasco. Varios trabajos realizados revelaron que la contaminación del agua tiene influencia sobre la contaminación del tejido animal y es casi seguro del humano de forma indirecta o directa.

Resalto en este marco, de la investigación realizada el 2009 y 2026-2017 por la

Universidad de Pisa y Source Internacional, revelaron en que grado fue afectado el medio ambiente, así, como se vio afectado la salud de la población, básicamente los niños quienes presentaron presencia dentro de su organismo a más de 10 metales pesados (Al, Se, Mn, As, Cr, Ni, Cd, Ta, Cs y Pb), quienes se encontraban a niveles que superaban los Máximos Establecidos dados por la OMS analizadas en muestras de sangre, mientras los Estándares de Referencia Internacionales medidos en cabellos. Lo encontrado hizo que en los recientes años los Profesionales de Source International (Laura Grassi, Flaviano Bianchini, Miguel Madrid y Stefano Sbrulli) se comprometan más en realizar investigaciones ambientales y de salud dentro del distrito de Carhuamayo y Simón Bolívar contando con médicos procedentes de Portugal y España (Labor, 2020).

Basado en niveles encontrados en la laguna de Quiulacocha y Yanamate, fue notado que el pH de ambas lagunas está en torno de 2 (10.000 veces más que el límite permitido para que se asegure la salud humana y preserve el medio ambiente). Asimismo, fueron encontrados elevados niveles de Cd, Fe, Cr, As, Zn, Mn, y Cu. Además, el Fe fue reportado de superar 6.000 veces el límite de la legislación nacional (D.S. No. 010-2010-MINAM); mientras el Mn superó en 2.200 veces la misma ley. Las dos lagunas estuvieron recibiendo diversos desechos por años y hoy en día no se usan como fuente de agua directa, también fue encontrado que estas lagunas contaminan el sistema acuífero encontrara en esas zonas. La contaminación reportada en el lago Yanamate son tan altas que fue construido barreras para que se evite que animales o personas se acerquen.

El agua aplicada durante los procesos mineros es vertida de manera directa en los ríos presenta de la zona. Razón por la cual se registraron elevada concentración de Pb en todas las muestras, y que superó en todas los LMP dado por la OMS. En ríos como Huallaga, Tingo y San Juan se detectaron elevados niveles de diversos metales, haciendo que su agua no sea usada para actividades domesticas o de agropecuaria. Además, fue observado que aguas que proceden

de diferentes minas localizadas aledañas a la planta minera de Paraghsa, contenían altas concentraciones de Al, Fe, As, Mn, Zn, y Pb que fluyen de manera directa sobre los ríos sin previo tratamiento o purificación (Source Internacional, 2017).



**Ilustración 1. Desmontes en bocamina Don Paco**

Esta contaminación que posee minerales, metales y metaloides hacen que se generen perturbaciones en la vida que contienen los ríos y por ende de la población humana. Así, es importante promulgar normas que regulen o impidan que sigan contaminando minas abandonadas, los relaves, o pasivos ambientales y de esta manera se afecten al medio ambiente y la población (Menéndez & Muñoz, 2021).

**Tabla N°01. Resultado del monitoreo del agua del rio San Juan**

|                           |                 |              |
|---------------------------|-----------------|--------------|
| Hierro                    | Fe              | 0.114 mg/l   |
| Nitrato                   | NO <sub>3</sub> | 4.660 mg/l   |
| Mercurio                  | Hg              | 0.002 mg/l   |
| Zinc                      | Zn              | 3.490 mg/l   |
| Plomo                     | Pb              | 0.043 mg/l   |
| Sulfato                   | SO <sub>4</sub> | 367.460 mg/l |
| Solidos Total Suspendidos | STS             | 68.000 mg/l  |
| Manganeso                 | Mn              | 7.125 mg/l   |
| Solidos Total Disueltos   | STD             | 470.000 mg/l |
| Turbidez                  | TU              | 14.000 mg/l  |
| Temperatura               | T               | 11.400 oC    |
| pH                        | pH              | 7.100 U.E.   |

**Fuente:** Sistema de Información Ambiental. Dirección Regional de Energía y Minas Pasco.

El Mn cuando está presente en el medio ambiente es difícil de ser eliminado debido a que presenta tres estados de valencia (2+, 3+ y 4+) sobre la corteza terrestre, y que también porque logra formar diversa variedad de oxidación de valencia mixta. Entre las valencias, la +3 es la más inestable, ósea, dos iones  $Mn^{3+}$  podrían interactuar para ser formada de manera espontánea el  $Mn^{2+}$  y el ion  $Mn^{4+}$ . Estos últimos, son más estables termodinámicamente comparada a la especie  $Mn^{3+}$  (Hem, Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, 1985). Así, en este trabajo fue planteado remover este metal en su especie más general, es decir, el ion  $Mn^{2+}$ , que cuando se aplica un aireado oxidativo produce un precipitado de color negro de  $MnO_2$ . No en tanto, para que se de esta reacción y lograr la remoción es necesario trabajar a ciertas condiciones. Para poder solucionar este problema fue planteado llevar a cabo pruebas de laboratorio que permita remover el Mn en este proceso de tratamiento. Todo ello, visando encontrar un proceso óptimo que permita tratar las aguas industriales y que estos cumplan con los límites máximos óptimos (LMO) y los ECAs para el agua (Loza & Aduvire, 2018).

## **1.2. Delimitación de la investigación**

### **A. Delimitación del estudio:**

El presente trabajo se realizó en un contexto a nivel de laboratorio, usando como muestras del agua proveniente de las descargas a los cuerpos receptor de los ríos Rgra y San Juan de las minas de la provincia de Pasco, que se encuentra operando como es Cerro SAC, Brocal y de las minas de las labores abandonadas, de los depósitos de relaves y pasivos ambientales existentes, como:

- Mina don Don Paco, este yacimiento está emplazado por rocas dacítica (porfírica) silicificada y piritizada, mientras el mineral superficial está limonitizado, siendo que el drenaje se dirige a la población de Paragsha y

posteriormente al Mantaro. Además, los drenajes del norte van para la cuenca del Huallaga.

- Mina Cuatro Amigos, mina denunciada que se localiza al lado de la laguna Yanamate, siendo que parte de sus aguas de escorrentía van en dirección de esta misma laguna, mientras que la otra parte va en dirección del río Huallaga.
- Planta Santa Rita y Lucero CIA. MINERA AUREX S.A. alrededor de 10 km. al SO en dirección de la ciudad de Cerro de Pasco, hacia la ladera oeste de un cerro que no tiene nombre a 4300 msnm que está localizado plazado entre el cerro "Antoculpan" (Oeste) y "Puca Ingenio" (Este).
- Empresa Minera: Cerro SAC, Brocal y Pan American Silver Unidad Minera Huaron cuyas operaciones se ubican en la Provincia/Región de Pasco, sus efluentes desembocan en los ríos: San José y San Juan.

#### **B. Delimitación del Tiempo:**

"La citada investigación se llevará a efecto en el mes de enero a diciembre de 2022".

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿En qué medida se reducirá el manganeso mediante el método de reducción-alcalinización en pruebas a nivel de laboratorio en la región Pasco?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál será el nivel de concentración de manganeso en el agua de mina?
- ¿Cuál será la concentración óptima en el método de reducción-alcalinización para la prueba sobre la remoción de manganeso en el agua mina?

## **1.4. Formulación de objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar la remoción de la concentración del manganeso mediante el método de reducción-alcalinización en pruebas a nivel de laboratorio en el agua contaminada de las actividades mineras en la región Pasco.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar el nivel de concentración de manganeso en el agua de mina.
- Evaluar la remoción de manganeso mediante el método de reducción-alcalinización la concentración optima del pH en las pruebas sobre la remoción de manganeso en el agua mina.

## **1.5. Justificación de la investigación**

Este trabajo investigativo se lleva cabo visando mejorar el tratamiento del agua de mina, con la finalidad de lograr el cumpliendo Límites Máximos Permisibles (LMP) del D.S. N° 010-2010-MINAM y D.S. N° 004-2017-MINAM. - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, en cuanto al contenido que se debe aporta sobre la concentración manganeso en las diferentes operaciones mineras. Este se encuentra enmarcado dentro del “Plan Integral para la Adecuación e Implementación a los Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas y a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua”, el cual se usó como referencia visando cumplir los dispositivos legales vigentes.

Los resultados que proporciona la investigación sirven para que se cumplan las normas establecidas por el Ministerio de Energía y Minas, quien exige se tenga un Plan Integral para que se adecue e implementen los LMP y ECA agua que está vigente hoy en día.

## **1.6. Limitaciones de la investigación**

El desarrollo de la investigación presenta bastante sustento en la parte teórica y documental realizada a nivel internacional, nacional y regional, muchos de los cuales acceder a dicha información esta publica en revistas indexadas que requiere de pagos elevados para lograr esta información, por lo nos limita en gran medida a acceder de la información valiosa sobre todo para dar énfasis en el marco teórico de este trabajo investigativo.

## **CAPITULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de estudio**

#### **A. Antecedentes Nacionales**

**Echegaray (2018)** realiza una investigación para **“Remover el manganeso mediante el método de reducción-alkalinización de las aguas contaminadas por los procesos mineros en la provincia de Huaral 2017”**. en dicho resumen se la investigación detalla a continuación. el método planteado se centró el en analítico - deductivo y analítico, de tipo observacional – aplicado y nivel correlacional. El diseño fue preexperimental de corte transversal, mientras el método usado fue en función al tratamiento realizado a través la alkalinización – reducción. La cantidad adecuada de los reactivos fue determinada mediante la prueba de jarras, previo a la contaminación de la muestra con el Mn. Se obtuvieron resultados óptimos debido a que se alcanzó una remoción de 3.063 de Mn sin tratarlo y del efluente tratado en 0.0159 de Mn, donde se encontró un resultado positivo ( $R_o = 0.894$ ) en función del tratamiento de las aguas residuales industriales que se generaron dentro del interior mina. Se concluyo que el Mn fue removido un 99.47% a través del método reducción-alkalinización de las aguas que contenían esta contaminante consecuencia de los procesos

mineros realizados en Huaral, 2017. Así, se logró que la concentración del Mn este debajo de los ECAs agua, tomando en cuenta un pH de 12, con una disolución de Cal aplicando 6 mL (Echegaray, 2018)

**Becerra (2022) planteo la siguiente investigación “Efecto de la ozonificación en la concentración de hierro y manganeso, de las aguas del río Tingo Maygasbamba Bambamarca, influenciada por la actividad minera”** llegando a obtener los siguientes propósitos en su investigación. se propuso determinar cuál era el efecto de ozonificar para reducir Mn y Fe sobre las aguas del rio Tingo Maygasbamba que tiene influencia de actividad minera. Fue tomado en cuenta el enfoque cuantitativo para fines de comparación del pH (2, 6 y 8). Además, fue tomado en cuenta la parte explicativa basada en el diseño no experimental longitudinal, tomándose para ello 4 muestras de agua durante el periodo de sequía (julio a septiembre) en los que se referencio 4 puntos de muestreo.

El Mn y Fe presentaron una concentración inicial de 71,7 mg/L y 382,5 mg/L, respectivamente a un pH de 2,87. Este resultado dio a conocer que el río Tingo Maygasbamba excedía los parámetros dados en el DS-004-2017 MINAM. El Fe y Mn fueron removidos usando el ozono, conocido como un oxidante de espectro amplio y considerada como tecnología moderna, verde y amigable con la atmosfera. Las muestras fueron cuantificadas dentro del Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca, a través del ICP-MS. Los datos iniciales encontrados permitieron que se ensaye incrementando el pH sobre el agua colectada del río Tingo, pasado de un pH ácido a uno básico empleando 16.8 g de soda cáustica, aplicando en tiempos de 5 a 50 minutos y concentraciones variando de 1,25 g/L a 12,5 g/L de O<sub>3</sub>. Fue concluido que el pH y tiempo óptimos fueron de 8 y 5 minutos, respectivamente, donde se obtuvo los valores de Fe y Mn en 0,01 mg/L y 0,05 mg/L, respectivamente (Becerra Ruton, 2022).

**Córdova & Rojas (2015)** realizaron una investigación “**Alcalinización con Travertino y desmineralización de aguas ácidas de minas en simulador de humedal a nivel de laboratorio**”

El Rio Mantaro conocido como la principal fuente de agua para abastecer alrededor de 40000 beneficiarios del Valle del Mantaro está contaminada por aguas ácidas que liberan diversas mineras que se encuentran aledañas a su cauce, principalmente en la provincia de Yauli – departamento de Junín. Aquí fue reducido el contenido de Fe y Mn basada a las normas peruanas, usando para ello una columna con relleno travertino (10.5 kg) que tenía la altura y diámetro de 150 cm y 20 cm, respectivamente. Este esquema hizo que el pH se incrementara de 2,8 a 7,2, lo que permitió que se reduzca el Fe de 77,79 ppm a 4,75 ppm. No en tanto, la concentración de Mn no se vio reducida en esta columna. Así, para lograr reducir el Mn fue construido un estanque de humedal usando totora como bioextractor. Este fue construido tomando de forma de un paralelepípedo con 2 m de largo, 0.5 m de altura y 0,8 m de ancho. Basado en ello, el Mn fue reducido de 17,73 ppm a 0,205 ppm, mientras que el Fe se redujo hasta 3,73 ppm. Para esto, el caudal (15 ml/min), temperatura (16 °C) y presión atmosférica (520 mmHg) fueron mantenidos constantes. Las variables que se manipularon fueron: longitud del recorrido del estanque para el humedal y el diámetro de partícula de travertino empleado para rellenar la columna. De forma experimental fue determinado un tamaño de partícula igual a 0.75 pulgadas con una longitud de recorrido lineal dentro del sistema del humedal igual a 3.2 m (Córdova & Rojas, 2015).

**Ayzanoa & Mendoza, (2018)** en la investigación “**Remoción del manganeso del efluente minero metalúrgica utilizando en el proceso de oxidación con hipoclorito de calcio en una planta de tratamiento de agua ácidas-ubicada en la región Huancavelica**”, se busco remover el Mn presente en efluentes mineros aplicando el hipoclorito de Calcio. Para tal se

implementó una PTAA en la región de Huancavelica. Así, lo primero que se hizo fue identificar un punto para que se tomen las muestras previo a su tratamiento, donde se caracterizaron sus parámetros usando la normativa ambiental. Posterior a ello, cada muestra fue tratada con diferentes cantidades de hipoclorito de Ca, con la intención de ver cuál de estos removía mayor cantidad de Mn y otros metales. Los resultados revelaron que antes de ser tratado el efluente presento 129.1 mg/L (Mn), y después reporto el valor de 0.015 mg/L, quien mostró una remoción del 99.9%, lo que hizo que la concentración de Mn este dentro el LMP y categoría III de los ECA. Fue concluido que el hipoclorito de Ca a través de la técnica de oxidación logra remover el Mn presente en un efluente minero metalúrgico de la PTAA. Es recomendable que para estudios parecidos se emplee un pH básico que permita generar la precipitación y después de ello se haga la oxidación usando hipoclorito de Ca, como se comprobó en este trabajo y lo reportado previamente en trabajos similares (Ayzanoa & Mendoza, 2018).

**Acevedo Luyo (2015)** realizo el “**Tratamiento de aguas acida de drenaje de mina con alto contenido de Al y Mn empleando tecnología de lodos de alta densidad (HDS)**” se propuso determinar que tecnología era la más correcta para tratar aguas ácidas de drenaje conteniendo metales (Al y Mn), visando hacer que estos elementos puedan cumplir con la normativa ambiental actual del Perú. La precipitación del Al se monitoreo cuando se aplico la lechada de cal a un pH del 10%. Fue encontrado que en un pH entre 6 a 9, el Al logró precipitar, no en tanto a pH mayores este se re disuelve, probablemente en función a su comportamiento anfótero. Se lograron concentraciones de Al (0.05 ppm y 0.59 ppm) y que están abajo del LMP. Asimismo, el Mn logró precipitar en un pH de 11, cuyo valor de Mn encontrado fue de 0.13 ppm, valor por debajo del LMP (Acevedo, 2015)

## **B. Antecedentes Internacionales**

### **Skousen, Sexstone, & Ziemkiewicz (2000) “Control y tratamiento de drenaje ácido de minas”**

El drenaje ácido de mina (AMD) es formado si los minerales de sulfuro se exponen a condiciones oxidantes en la minería de carbón y metales, la construcción de carreteras y otras excavaciones a gran escala. La Ley de Recuperación y Control de Minería de Superficie requiere que los operadores y reguladores del carbón predigan si AMD puede ocurrir en un sitio de mina potencial antes de la perturbación. La predicción precisa de AMD antes de la minería de superficie requiere una comprensión completa de muchos componentes en un sitio de mina. Tres de los factores más importantes son: la geoquímica del estéril, el método y la precisión del manejo y la colocación del estéril en el relleno durante la recuperación y la hidrología posterior a la extracción del sitio. Las tecnologías de control de AMD son medidas que se pueden tomar donde ya se ha formado AMD o se prevé que sea un problema en el futuro. Casi todos los esquemas de enmienda alcalina se basan en ABA para identificar la alcalinidad requerida para la neutralización de materiales piríticos.

**Larsen & Mann (2005) investigo el “Origen de las altas concentraciones de manganeso en el drenaje de una mina de carbón, al Este de Tennessee”.** Realizo mediciones de las concentraciones de manganeso disuelto en la escorrentía de mina ligeramente ácida de una mina a cielo abierto operada por Cumberland Coal Company en el este de Tennessee. Se realizaron análisis mineralógicos y químicos en 31 muestras de arenisca, esquisto, carbón y lodolita de la mina para identificar las fuentes y la distribución estratigráfica de los altos contenidos de manganeso extraíble en los materiales de escombros. Las muestras se analizaron para determinar su contenido mineral a granel mediante difracción de rayos X, potencial ácido-

base neto y reacción a 2 o 4 procedimientos de extracción química. Se analizó un número limitado de muestras en cuanto a características petrográficas, composición mineral de arcilla mediante difracción de rayos X y composición mineral por microsonda electrónica. Se utilizó el análisis de los datos y la consideración de las condiciones geoquímicas en la mina para identificar las fuentes probables de los altos contenidos de manganeso extraíble.

Los resultados indican 2 fuentes prominentes e independientes de manganeso extraíble. La primera fuente es manganeso intercambiable en minerales arcillosos (principalmente illita + moscovita y clorita) y se concentra en los tipos de rocas de esquisto y lutita. La segunda y más importante fuente es el manganeso en las concreciones de siderita y el cemento, principalmente en el esquisto y la lutita. La comparación con otros estratos que contienen carbón indica que la siderita rica en manganeso es común en los sedimentos subacuáticos de agua dulce a salobre que yacen sobre el carbón. Este es especialmente el caso de los carbones formados en ambientes tropicales húmedos.

Las proporciones de manganeso a calcio y magnesio en la escorrentía de la mina sugieren que el manganeso de la siderita es la principal causa de los altos contenidos de manganeso disuelto. Se desarrolla un modelo conceptual para explicar los altos contenidos de manganeso de la escorrentía de la mina. La oxidación de la pirita crea aguas ligeramente ácidas que posteriormente se neutralizan parcialmente por reacción con siderita impura. El manganeso solubilizado permanece disuelto en el agua de escorrentía ligeramente ácida, mientras que el hierro disuelto precipita como hidróxido férrico o goethita. La consideración de los datos de otras regiones mineras de carbón sugiere que reacciones similares que involucran siderita impura pueden ser responsables de las altas concentraciones de manganeso en la escorrentía ácida a

ligeramente ácida de la mina. El modelo de trayectoria de reacción geoquímica de pirita y siderita impura con agua de lluvia ilustra cómo las composiciones resultantes del agua pueden variar según las proporciones de pirita a siderita en los materiales de escombros. Las composiciones del agua de escombros de la mina Cumberland son en gran medida consistentes con la reacción de pirita y siderita impura en las proporciones observadas en los sedimentos; sin embargo, las desviaciones pueden explicarse por mezclas menores con aguas que reaccionaron solo con siderita impura o reacciones de intercambio de minerales arcillosos (Larsen & Mann, 2005).

**Chen & Xiao (2014) logra el “Control de la contaminación y recuperación de recursos metálicos para drenaje ácido de minas”**

Aunque los metales contenidos en el drenaje ácido de mina (AMD) se consideran contaminantes ambientales, también pueden ser recursos valiosos. Los procesos tradicionales de precipitación química para AMD no solo producen grandes cantidades de lodo, sino que también dificultan el reciclaje de los metales de desecho. Este estudio investigó exhaustivamente el reciclaje de Fe, Cu, Zn y Mn de AMD. Primero se oxidaron los iones ferrosos con 0,15 ml/L de  $H_2O_2$  al 30% y luego se aplicó una precipitación fraccionada de cuatro pasos con la adición selectiva de soluciones de  $Ca(OH)_2$  y  $Na_2S$ . Los contenidos de Fe, Cu, Zn y Mn de lodos particulares fueron 45,91%, 11,58%, 31,06% y 7,95% respectivamente, y las eficiencias de recuperación de Fe, Cu, Zn y Mn de AMD alcanzaron 99,51%, 86,09%, 87,87% y 79,71%, respectivamente. Los metales contenidos en el efluente estaban por debajo de los límites del Código de Regulaciones Federales (CFR) después del proceso de precipitación de Mn. También se probó la tecnología para la reutilización completa de los lodos. El rojo de óxido de Fe se obtuvo tostando el lodo de Fe durante 30 min a una temperatura de 500 °C, lo que resultó en un contenido de  $Fe_2O_3$  del 85,18 %. Los concentrados

de crudo de Cu y Zn fueron generados por un proceso de flotación; los contenidos de Cu y Zn de estos concentrados fueron 35,72% y 55,13% respectivamente, y las eficiencias de recuperación de Cu y Zn fueron 72,66% y 76,18%, respectivamente. Los lodos de Mn obtenidos se pueden utilizar en mezclas de cemento para reemplazar el 45% del cemento Portland ordinario (OPC). Basado en la tecnología probada, aquí se propone un proceso integral de recuperación de metales para controlar la contaminación por metales y la recuperación de metales de AMD.

**Atlung & Jacobsen (1981) “El potencial del dióxido de manganeso activo de batería”** realizó la revisión y se discute el desarrollo y los antecedentes de la hipótesis de la “reducción homogénea”.

Concluye que el potencial calculado a partir de esta hipótesis no puede dar cuenta de los valores observados experimentalmente.

Se propone tratar el dióxido de manganeso como electrodo de inserción para protones. Un tratamiento termodinámico indica que un término electrónico,  $\mu_e$  en el dióxido, puede ser importante. Incluyendo esto, y utilizando un tratamiento mecánico estadístico, basado en el concepto de un número de sitios accesibles para el protón dependiente de la concentración, se obtiene una muy buena concordancia entre los potenciales calculados y observados en todo el rango de descarga. Este procedimiento está respaldado por evidencia cristalográfica sobre la estructura en el rango cercano a MnOOH (Atlung & Jacobsen, 1981).

**Cheng y otros (2018) “Características estructurales y actividad catalítica de amonio y manganeso de dos tipos de medios filtrantes en el tratamiento de aguas subterráneas”.**

Realizaron dos tipos de medios filtrantes en el tratamiento de aguas subterráneas para un estudio comparativo de la estructura superficial y el rendimiento catalítico. Se adoptaron medios filtrantes naturales de una planta

convencional para que se traten las aguas subterráneas con aireación y filtración, y también se adoptaron medios filtrantes activos como medios filtrantes novedosos y prometedores. Las propiedades fisicoquímicas de estos dos tipos de medios filtrantes se caracterizaron utilizando numerosas técnicas analíticas, como la difracción de rayos X (XRD), el microscopio electrónico de barrido (SEM), los rayos X de dispersión de energía (EDX), la espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS) y el potencial Zeta. Las actividades catalíticas de estos medios filtrantes se evaluaron para la oxidación de amonio y manganeso. Los datos XRD mostraron que tanto los medios filtrantes activos como los naturales pertenecían a la familia de las birnesitas. Se encontró una nueva fase de dióxido de manganeso ( $\text{MnO}_2$ ) (PDF#72-1982) en la estructura de los medios filtrantes naturales. La micrografía SEM de los medios filtrantes naturales mostró estructuras de panal y los medios filtrantes activos presentaron estructuras de placas y consistieron en partículas apiladas. Estos medios filtrantes naturales presentaban un nivel más bajo de algunos elementos traza como el calcio y el magnesio, un menor grado de cristalinidad, un contenido de  $\text{Mn}^{+3}$  y un contenido de oxígeno reticular más bajos que los medios filtrantes activos, lo que se asoció con sus escasas actividades catalíticas de amonio y manganeso. Además, se encontraron algo de  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{MnCO}_3$  en el recubrimiento que pueden dificultar la oxidación catalítica de amonio y manganeso. Este estudio proporciona una comprensión profunda y completa de los medios filtrantes más utilizados en el tratamiento del agua, lo que puede proporcionar una guía teórica para aplicaciones prácticas.

**Sánchez (2020) “Estudio de la remoción de manganeso y hierro en el módulo II de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán”,** viso determinar una dosis adecuada de  $\text{KMnO}_4$  que se pueda aplicar en el agua cruda que ingresa en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán, que

se pueda reducir el Fe y Mn y otros metales presentes en los depósitos de abastecimiento. Fueron trabajadas 06 diferentes concentraciones: 120, 240, 300, 400, 450 y 500  $\mu\text{g/l}$  de  $\text{KMnO}_4$ . Los resultados obtenidos indicaron que la dosis óptima fue la de 500  $\mu\text{g/l}$  quien removi6 mayores cantidades de Fe y Mn, prácticamente el 100%. Asimismo, se observ6 que la concentración reportada de los metales no se afecta por el caudal que ingresa a la Planta. Basado en ello, es posible afirmar que la dosis de  $\text{KMnO}_4$  aplicada actúa de forma independiente al caudal. En función a ello, se logro eliminar problemas relacionado a la presencia del Mn y Fe en aguas para consumo (Sánchez, 2020) en el trabajo cuyo título fue: “Evaluación técnico-económica de la remoción de manganeso desde soluciones acuosas mediante el uso de procesos de adsorción”, se propusieron analizar la factibilidad técnico-económica de encontrar una capacidad máxima que pueda adsorber y que su cinética permita que se adsorba el  $\text{Mn}^{+2}$ , presente en las soluciones acuosas, en donde se adhirieron los sustratos más eficientes y que sean de bajo costo. Fue encontrado que la zeolita (0.247 mg/g), junto al fly ash (0.247 mg/g) e hidróxido férrico (0.239 mg/g), adsorbieron más altas concentraciones de  $\text{Mn}^{+2}$  (Matamoros, 2019).

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **2.2.1. La explotación minera**

La explotación minera implica en cierta manera un grado de alteración de los recursos naturales esto debido a la necesidad de realizar las operaciones de minado donde se realiza la voladura y el movimiento de grandes volúmenes de material mineralizado (toneladas de roca mineralizada), esto debido al aprovechamiento de los minerales presente en este medio, comenzando con la remoción de la cubierta vegetal hasta llegar a la roca mineralizada.

El uso del agua es aprovechado para las diferentes operaciones que se realiza en la minería, también en muchos de ellos puede generar la que se desvíe

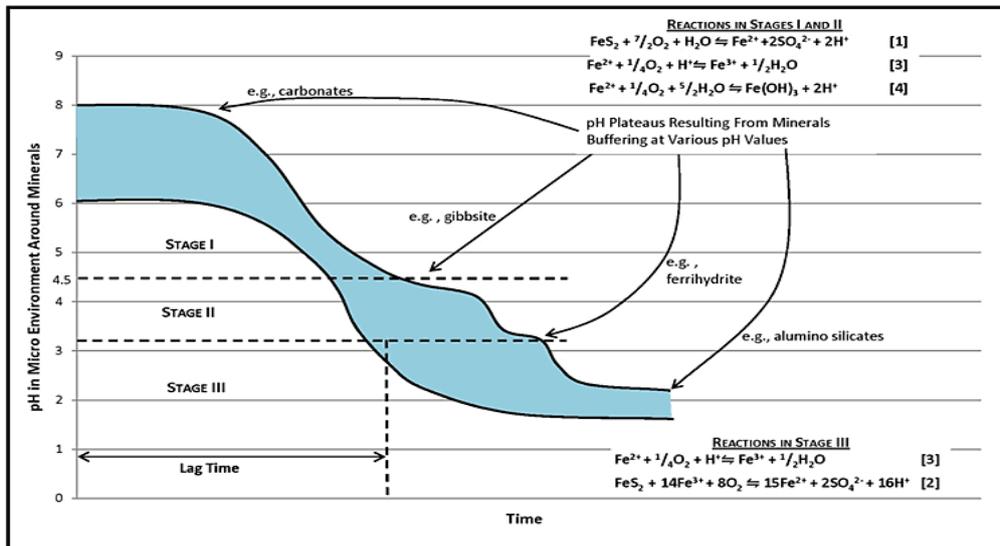
o represen los ríos haciendo también que se modifique la topografía, entre otros. Estos cambios hacen que se impacte fuertemente la cantidad y calidad del agua que está fluyendo la superficie, y asimismo del agua subterránea, lo que puede generar con el tiempo desequilibrios ecológicos, ambientales y sociales que se dan a través de conflictos ocurridos entre comunidades locales, instituciones, empresas que están dentro de esta área. Este inconveniente podría desencadenar una crisis en la gobernanza del agua, que se podría radicalizar los diversos actores que defienden sus intereses, como también del desgaste sobre el tejido social o la degradación ambiental. Además, las actividades de mina traen consigo riesgos relacionados a obras de extracción y sus depósitos de residuos, si estos no se manejan de manera adecuada, dado que podrían aumentar la contaminación y en ciertos casos ser tomados como pasivos ambientales si la mina llega a cerrarse (Lewinsohn et al., 2017). Estos pasivos podrían generar costos de consideración, pero que depende en su tamaño, los depósitos de desmonte, su localización, su naturaleza como contaminante y los recursos que se vieron afectados (Saade, 2014). La deuda que genera un pasivo ambiental es imposible a ser absorbida por un gobierno, siendo más álgida la situación en países que está en vías de desarrollo como el Perú (Salgado, Güitrón, & Cervantes, 2021).

**A. Los drenajes ácidos de Mina (DAM)** (Aduvire, Tratamiento de Aguas Acidas de Mina, 2006)

Los DAM son conocidos como una fuente de contaminación de aguas subterráneas y de superficie a nivel mundial. Este problema ya viene existiendo por décadas inclusive hace cientos de años, siendo necesario que se busque de alguna manera prevenir su formación o aplicar algún tratamiento correctivo si ya se formó. Este drenaje es bastante tóxico para el ser humano, fauna y flora debido a que contienen diferentes metales disueltos y compuestos orgánicos insolubles y solubles dentro su composición, que

usualmente provienen de labores de minería, como la de concentración de metales, relaveras y desmontes de mina. Hay reportes que murieron miles de peces y crustáceos que vivían en el río. Además, fue revelado afecciones en ganado y destrucción de riveras, cultivos e ingreso de coloración y turbidez en las aguas de laguna y ríos.

Los DAM poseen un pH bajo y poseen una enorme cantidad de sólidos presentes en suspensión conteniendo altos niveles de sulfato y metales disueltos como Ni, Al, Fe, Cu, Cd, Pb, entre otros, en el orden de cientos de mg/L. Tales elementos a elevadas concentraciones tienden a ser nocivos sobre la actividad biológica debido a que llegan a contaminar los cursos de agua, y que pueden dañar estructuras hechas por el hombre. Como su tratamiento implica enormes gastos económicos en depuradoras convencionales, es fundamental encontrar alguna solución a este problema.



**Ilustración 1. Etapas en la Formación del ARD (INAP, 2009)**

Una opción para tratar de manera convencional los DAM polimetálico siempre en cuando las instalaciones están operando o abandonadas, estos constituyen métodos de tratamiento pasivo en función a su bajo costo, simplicidad de operarlos y de mantenerlos, y a su gran eficiencia para tratar aguas ácidas. Entre los métodos pasivo se encuentran los humedales

diseñados, drenajes anóxicos, sistemas de producción alcalina, balsas orgánicas, y barreras reactivas permeables, cuyo objetivo buscado es suprimir la acidez, precipitar los metales pesados y eliminar sustancias contaminantes como arseniatos, antimonios y sólidos en suspensión, entre otros.

Los tratamientos pasivos tienen una filosofía de modificar el Eh y pH del influente buscando a que se viabilice a que se formen especies insolubles que puedan precipitar como oxihidróxidos metálicos. Por lo general, en estos sistemas, se recurren al empleo de bacterias para catalizar las reacciones y acelerar los procesos que forman precipitados, así como al uso de material alcalino para neutralizar la acidez (subir el pH).

Un drenaje es ácido cuando los minerales ácidos exceden a los alcalinos, puede contener elevadas concentraciones de  $\text{SO}_4$ , Fe, Mn, Al y otros iones, puede tener o no bajo pH, pero la presencia de Fe, Al y Mn disueltos pueden generar iones  $\text{H}^+$  por hidrólisis (alta concentración iones  $\text{H}^+$ ) y bajar el pH. En cambio, en los drenajes de mina neutros o alcalinos (alcalinidad igual o mayor que acidez) también pueden tener elevadas concentraciones de  $\text{SO}_4^-$ , Fe, Mn y otros solutos, pero la disolución de los minerales carbonatados neutraliza la acidez y remueven Fe, Al y otros iones metálicos, y sin embargo no afecta significativamente la concentración de  $\text{SO}_4^-$ .

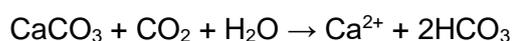
En drenajes ácidos el anión principal es el  $\text{SO}_4^-$  y los cationes mayoritarios son Fe, Mn y Al. En cambio, en drenajes alcalinos el  $\text{HCO}_3$  es más significativo que el  $\text{SO}_4^-$  y los contenidos de Ca, Mg y Na son más elevados que los de Fe y Al.

**Tabla N°02. Tipos de drenajes de mina (Skousen, Sexstone, & Ziemkiewicz, 2000)**

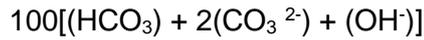
| TIPO | pH    | DESCRIPCIÓN   |
|------|-------|---|
| I    | < 4,5 | Elevado contenido de Pb, Fe, Ni, Al, Zn, Cu, y otros metales.<br>Elevado contenido de O <sub>2</sub> .<br>Muy ácido (llamado Drenaje Ácido de Mina)   |
| II   | < 6,0 | Elevada cantidad de sólidos disueltos.<br>Elevado contenido del ión ferroso (Fe <sup>2+</sup> ) y Mn.<br>Poco contenido de O <sub>2</sub> .<br>Por oxidación, el pH del agua tiende a caer de manera drástica hasta tornarse en Tipo I.   |
| III  | > 6,0 | Moderada a elevado contenido de sólidos disueltos.<br>Bajo a regular concentración del ion ferroso (Fe <sup>2+</sup> ) y Mn.<br>Poco contenido de O <sub>2</sub> .<br>Elevada alcalinidad (conocido como Drenaje Alcalino de Mina).<br>Por oxidación de metales la acidez que se genera se neutraliza a través de la alcalinidad del agua |
| IV   | > 6,0 | Elevado contenido de partículas disueltas.<br>Drenaje neutralizado, no en tanto aún no se fijaron los hidróxidos en el agua.<br>Si hay mayor tiempo de residencia en las balsas mayor es la fijación de las partículas, haciendo que el agua se torne similar al Tipo V.  |
| V    | > 6,0 | Agua del drenaje se neutraliza.<br>Elevado contenido sólidos disueltos.<br>Elevada cantidad de hidróxidos fijados y precipitados sobre las balsas.<br>Cationes que quedaron son disueltos por Mn y Ca.<br>Oxi-aniones solubles tales como sulfato y bicarbonato se mantienen en solución.   |

### **B. Drenajes alcalinos de la Mina**

Las aguas alcalinas producto de las explotaciones mineras se producen cuando las filtraciones desde superficie o desde acuíferos suprayacentes circulan a través de las rocas calizas y dolomíticas. La disolución del carbonato cálcico se produce debido a la formación de anhídrido carbónico en el agua y da lugar a la siguiente reacción:



La presencia de los iones bicarbonato en el agua es el que marca el medio alcalino de éstas, la alcalinidad total se mide en mg/l y se puede expresarse mediante la siguiente expresión de la concentración:



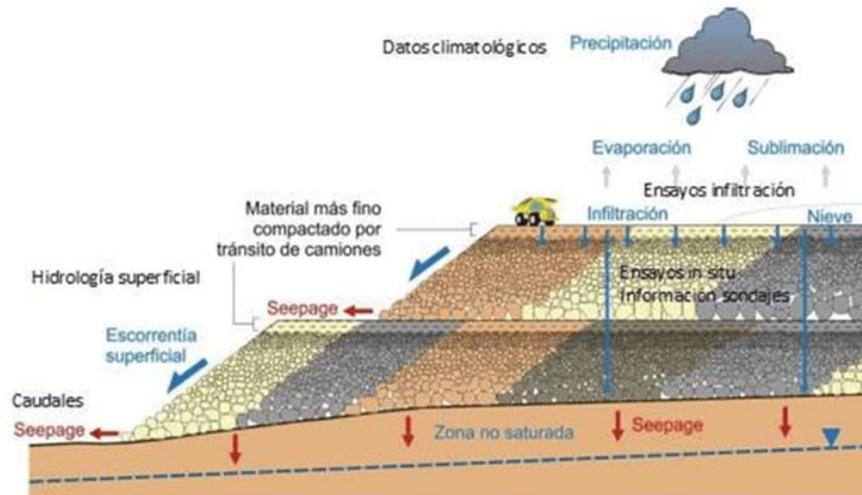
A pesar de no ser frecuente, las aguas alcalinas por encima de pH de 9.00 pueden en ciertos casos podrían dañar de la misma manera que las aguas ácidas. Las rocas mineralizadas obtenidas producto del minado dan lugar a una mayor aportación de contaminantes al agua al ser expuesto al ambiente, que los ambientes que no sufrieron algún tipo de modificación, dado que las superficies libres tienden a ser más lixiviables. Ciertas aguas alcalinas poseen elevadas concentraciones de hierro ferroso que llega a oxidar e hidrolizar pudiendo llegar a que se modifique el drenaje de una condición básica a ácida. Estos tipos de comportamiento de las descargas tienden a presentarse más en minas subterráneas que en de cielo abierto.

### **C. Problemática de las aguas de mina**

la minería muchas veces altera condiciones naturales del agua subterránea y superficial. Así, podría ser necesario a que se desvíen las aguas superficiales o desagüe para intentar disminuir el nivel de aguas subterráneas para alcanzar los minerales. Las fracturas que se generan cuando se hacen voladuras hacen que las propiedades de las rocas encajantes cambien de manera significativa su dirección y magnitud del flujo del agua. Así, la calidad del agua subterránea y superficial podrían verse afectadas. Actividades como voladura y desagüe podrían hacer a que se exponga el sulfuro al oxígeno, dando inicio a la oxidación y producción de ácido. Además, la explotación minera genera efectos hidrológicos que alteran las aguas superficiales y subterráneas haciendo que:

- La calidad del agua sea reducida, tornándola inadecuada para su consumo o uso en otras actividades.
- Se generan daños ecológicos, porque se alteran o eliminan comunidades biológicas naturales que se encuentran en estos cursos de agua.

- Se daña el paisaje, haciendo que su restauración de áreas afectadas abarque todos los elementos del medio físico tomando en cuenta el agua.



**Ilustración 3: Fuentes de drenaje (ácido, neutro o salino), zonas de flujo preferente y elementos de caracterización de la hidrología de botaderos (Amphos 21, cortesía D. Arcos).**

El agua contaminada en mina es consecuencia del ingreso de sustancias o algunas formas de energía tales como el calor que generan cambios en sus diversas características químicas y físicas. La acidificación de aguas de mina genera un número de problemas, debido a que cuando entran en contacto al aire estos se oxidan químicamente y biológicamente en sulfuros que hace que la acidez del medio se incremente.

La calidad de escorrentía que se genera sobre las paredes y en el lujo de agua subterránea al tajo es dependiente de su reactividad y composición básicamente de las rocas con las que se encuentran y del tiempo que están en contacto. Estos sulfuros en contacto al oxígeno de la atmosfera tienden a oxidarse haciendo que se genere ácido. Así, el tajo debe llenarse posterior a la extracción completa, y si la extracción va de manera lateral como si fuese mina de carbón, el proceso para rellenar debe hacerse en coordinación a la

excavación para mitigar el tiempo que los sulfuros se expongan (Ingeoexper, 2023).

### **2.2.2. Tratamiento de aguas de mina**

Para tratar de una manera adecuada el problema (identificación, prevención, tratamiento, remediación en su caso) se tiene que diseñar un modelo conceptual donde se puedan identificar los procesos en el que se movilicen los contaminantes, como se transportan hacia el medio ambiente (agua subterránea, suelos y agua superficial) y por último, como se direccionan hacia los seres vivos. Este modelo tiende a describir sobre las posibles fuentes de contaminación, como se movilizan, su transporte y como podrían exponerse dentro los flujos ecológicos y humanos.

Este modelo conceptual logra evaluar impactos dados en el medio ambiente, así, como el riesgo ocasionado para la salud, el cual se podría desarrollar en cualquier estado de vida de una dada mina. No en tanto, su desarrollo inicia en las primeras fases cuando se presenta el proyecto, el que se valida, revisa y actualiza constantemente. Cuando sea pertinente, basado a su vida útil de la mina mientras se va recopilando datos que se caracterizan en el lugar de monitoreo operativo. Este modelo debería mostrar la capacidad para que describa con precisión su liberación, transporte y final drenaje que esta basada en la cantidad de catos que se estén para ser caracterizados, y que usualmente están dentro la relación de la fase de la mina.

El tratamiento de las aguas de mina depende de la composición de los elementos metálicos presente en ella como: Hierro, cobre, zinc, plomo, antimonio, cromo, manganeso, etc estos pueden generar alteración en los parámetros fisicoquímicos y químicos presente en ellas, el tratamiento del manganeso puede darse a través de procesos de la neutralización, oxidación a través de la aeración o usando permanganato de potasio.

## **A. Tratamiento Pasivo**

Por lo general, el tratamiento de aguas ácidas de mina de flujo superficial se basa en procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en los humedales (Wetlands), en donde se promueve la formación de especies insolubles que precipiten como oxihidróxidos y se favorece la neutralización del agua. Para ello, se recurre al uso de material alcalino para neutralizar la acidez, al empleo plantas (Typha) que promueven el intercambio iónico y la captura de metales como nutrientes, y, de bacterias para catalizar las reacciones y acelerar los procesos que forman precipitados.

La aplicación del tratamiento pasivo por lo general requiere el empleo combinado de dos o más métodos para tratar un determinado tipo de agua.

En general los humedales aerobios pueden tratar aguas con alcalinidad neta, los drenajes anóxicos calizos tratan aguas con bajo contenido en  $Al^{+3}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  y oxígeno disuelto, y los humedales anaerobios (balsas orgánicas) y SAPS pueden tratar aguas con acidez neta y elevadas concentraciones de  $Al^{+3}$ ,  $Fe^{3+}$  y oxígeno disuelto.

## **B. Tratamiento Activo**

Procesos que necesita operaciones de manera continua realizada por el hombre, como por ejemplo las plantas para trata el agua residual y son:

- Aireación,
- Neutralización y precipitación,
- Intercambio iónico, y
- Ablandamiento químico. (Ministerio de Energía y Minas - Perú, 1999)
- Filtración y osmosis inversa

## **C. Metales pesados**

Conjunto de elementos químicos que poseen una densidad básicamente elevada y que muestran una dada toxicidad para los seres humanos.

Además, poseen la capacidad de generar mudanzas de evolución basado en los efectos negativos a las plantas. Entre estos elementos están: el cobre (Cu), Plomo (Pb), Zinc (Zn), Mercurio (Hg), Arsénico (As), Manganeso (Mn) y otros, cuya característica es de pertenecer a la corteza terrestre, pero que en un pequeño grado tienden a incorporarse a nuestro cuerpo por intermedio de los alimentos, aire, agua, pero que no se degrada ni destruye, pero que se tiende a bioacumular y/o biomagnificar. Esto todo afecta a todos los niveles alimenticios (Ministerio del ambiente, 2007).

- **Manganeso**

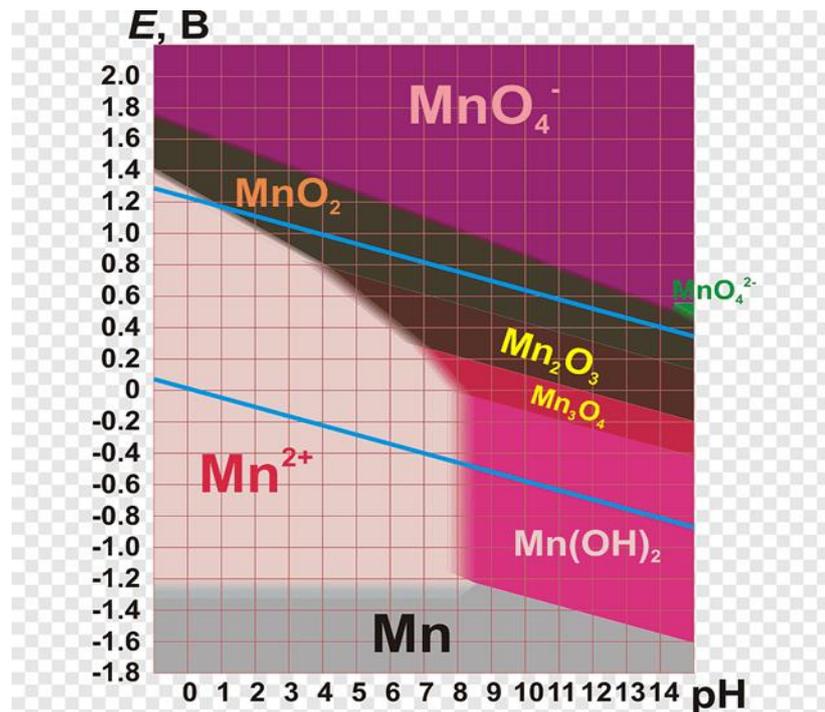
El manganeso se encuentra en la Tabla Periódica en el Grupo VII, Período 4, tiene la configuración electrónica:  $1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6 d^5 4s^2$ . Se encuentran compuestos con estados de oxidación desde +1 hasta +7, siendo los estados más comunes: +2, +4 y +7 (SEDICI, 2020).

Elemento químico metálico, de número atómico 25, de color y brillo acerados, quebradizo, pesado y muy refractario, que se usa, aleado con el hierro, para la fabricación de acero. (Símbolo. Mn). (Española, s. f.)

El Mn está presente en la naturaleza, más comúnmente en forma de óxidos y como sulfuro. Se encuentra en la mayoría de los minerales de hierro. La mayor parte de los compuestos de manganeso (II) son solubles en agua.

Este elemento se podría decir que es abundante y se encuentra a 0.085% de la corteza terrestre. Entre los metales pesados, el Fe es el único elemento más abundante. Usualmente, el Mn se encuentra bastante distribuido en diversos depósitos, con la pirolusita,  $MnO_2$ , siendo el más importante. Este elemento es electropositivo y puede disolverse rápidamente en ácidos diluidos. (Cotton, F., & Wilkinson, 1986)

## Tratamiento del manganeso en el agua



**Ilustración 4: Diagrama de pourbaix del manganeso**

Hay varias soluciones de tratamiento de agua disponibles para usar en la eliminación efectiva de manganeso del agua. Los resultados generales de estos métodos dependen de la concentración de manganeso y la forma de los metales. Debido a que el manganeso es un problema estético, tiene una alta probabilidad de dañar a todos los consumidores del agua.

El Mn presenta una mineralogía compleja como consecuencia del alto número de óxidos e hidróxidos que llegan a formarse, siendo los más habituales aquellos que se generan a través de la sustitución de Mn<sup>+2</sup> y Mn<sup>+3</sup> por Mn<sup>+4</sup>. Si el número de oxidación de una dada cantidad de iones fue modificado, su estructura se torna inestable iniciando una nueva fase. Estas sustituciones generan modificaciones sobre la longitud media del enlace Mn-O, haciendo que posteriormente sea modificada el tamaño de la celda unidad, el cual trae también sustituciones de ciertos O<sup>-2</sup> por OH<sup>-</sup> para que se logre alcanzar la neutralidad de carga.

En el tratamiento de aguas que contienen manganeso se suele utilizar permanganato potásico para oxidar este manganeso que precipita de acuerdo con la siguiente reacción:



Esta reacción tiene lugar a pH de 9 y 10, por lo que es necesario controlar este indicador.

Si las aguas están poco mineralizadas y presentan niveles altos de materia orgánica disuelta y requieren un pH de coagulación bajo en el orden de 5,5 a 6, el permanganato se debe incorporar entre la decantación y antes de la filtración y ajustar después el pH.

En aplicación del permanganato hay que tener cuidado para no excederse en la dosificación y evitar así la aparición de coloración rosada en el agua tratada.

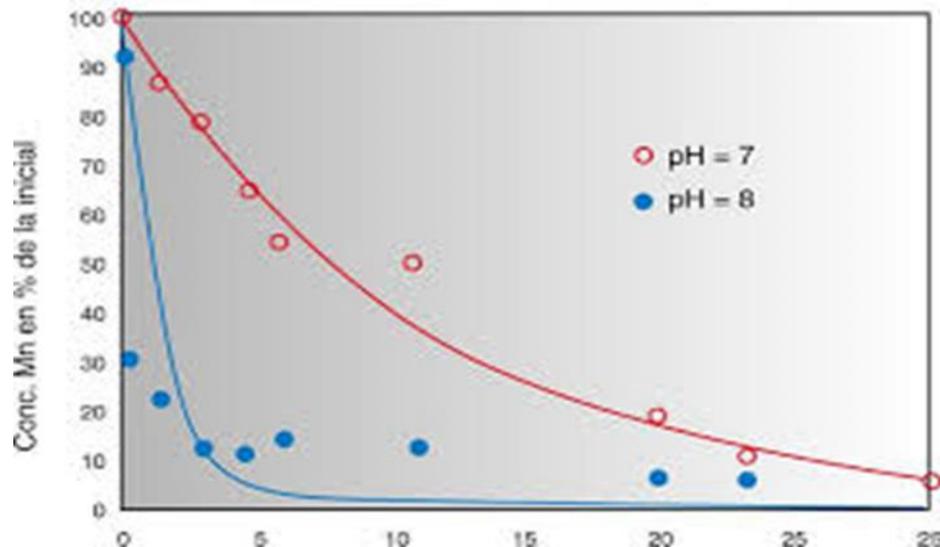
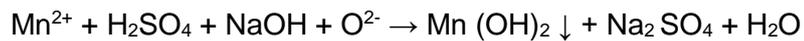
En aguas con alto contenido en materia orgánica, se ha comprobado la mejora en la coagulación y por tanto en la eliminación, tanto de turbidez, como de demanda química de oxígeno (DQO)., cuando se utiliza permanganato como una preoxidación.



**Ilustración 2. Experimento. Aspecto del agua tras la ozonización y tras la filtración del manganeso: (ASP Asepsia)**

## Remoción del manganeso

Una manera que ya es comprobada que logra remover el Mn presente en el H<sub>2</sub>O es cuando precipita en hidróxido a pH > 10, haciendo que se mantenga se este se le mantiene en pH más altos, siguiendo la reacción química:



**Ilustración 3: Efecto del pH en la oxidación del ión manganeso (para COD < 1 mg/l), tiempo de reacción en segundos (Del Águila Guadalupe, 2015)**

## Hidróxido de calcio

La cal en cualquiera de sus formas – cal viva, cal hidratada – y dolomía calcinada tienden a ser productos alcalinos de bajo costo y de gran efectividad para tratar aguas, siendo recomendado para aguas residuales y lodos. Prácticamente, toda la cal que se produce es destinado a tratar el agua y mejorar su calidad para el uso en industrias o consumo humano. Esto porque, este producto ablanda el, lo purifica, elimina su turbidez, elimina impurezas, neutraliza la acidez, etc.

Basado en la aplicación de la cal en plantas de tratamiento del agua se logra por ejemplo reducir el olor, sabor y color de este elemento,

asimismo, es posible eliminar material suspendido y turbiedad. Además, tiende a eliminar el Mn y taninos orgánicos del agua, así como la conocida sílice.

Entre los aspectos más destacables se podría nombrar a su poder de desinfección, debido a que si se agrega cal al agua y se mantiene un pH de 10.5 a 11.00 entre 24 a 72 horas, se podría mermar la presencia de virus y bacterias, así como también reducir la concentración de gran parte de metales pesados disueltos.

Asimismo, aplicando la lechada de cal es posible que se dosifique el pH que se quiere en el agua para lograr un óptimo tratamiento.

Ahora, si lo que se busca es reducir la dureza del agua, este puede someterse al proceso de descarbonatado, para que se eviten precipitados e incrustaciones de carbonato cálcico. Para tal es empleado el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) o el hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) para que se pueda dosificar como suspensión (lechada de cal) o disolución (agua de cal), haciendo que se forme el precipitado de Ca como carbonato de Ca y Mg como hidróxido, lo que permite que se reduzcan cationes de calcio y magnesio disueltos (Calcinor., 2023)

### **Legislación aplicable**

Fue aprobado los Estándares de Calidad Ambiental (**ECA**) para Agua fue establecido laas Disposiciones Complementarias **Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM**. Ver tabla 1.

**Tabla N°03. Estándares de Calidad Ambiental agua, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**

| Parámetros | Unidad de medida | D1: Riego de vegetales             |                             | D2:                       |
|------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
|            |                  | Agua para riego no restringido (c) | Agua para riego restringido | Bebida de Animales        |
| Manganeso  | mg/L             | 0,2                                |                             | Bebida de Animales<br>0,2 |

Fuente: (MINAM, 2017)

### 2.3. Definición de términos básicos (Lenntech, S/a)

#### A. Acidez

Referido a la capacidad de cuantificación que posee el agua para que neutralice una base, el cual se expresa en equivalente de carbonato de Ca, en ppm o mg/l. esto está en función al número de los átomos de H<sub>2</sub> que están presentes, el cual es medido usualmente a través una valoración que usa una solución de hidróxido sódico estándar.

#### B. Acuífero

Capa presente en el suelo y que tiene la capacidad de transportar un volumen grande de agua subterránea.

#### C. Acuoso

Que está compuesto por agua.

#### D. Aerobio

Un proceso que ocurre en presencia del oxígeno, tal como la digestión de la materia orgánica por las bacterias en una charca de oxidación.

#### E. Agua ácida

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

**F. Agua contaminada**

La presencia en el agua de suficiente material perjudicial o desagradable para causar un daño en la calidad del agua.

**G. Agua subterránea**

Agua que puede ser encontrada en la zona saturada del suelo; zona que consiste principalmente en agua. Se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y presión hacia lugares de baja elevación y presión, como los ríos y lagos.

**H. Agua superficial**

Toda agua natural abierta a la atmósfera, concerniente a ríos, lagos, reservorios, charcas, corrientes, océanos, mares, estuarios y humedales.

**I. Aguas receptoras**

Referido a una corriente de agua, lago, río, océano, o algún curso de agua que recibe alguna descarga de efluentes tratados o aguas residuales.

**J. Aireación**

Técnica aplicada para que se trate aguas que tienen una fuente de O<sub>2</sub>, al que se le conoce como purificación biológica aeróbica de este elemento. Aquí el agua se atrae para que entre en contacto con las gotitas de aire o cuando se rocía el aire se pone en contacto al agua a través de medios de aireación, donde el agua se presiona por la superficie del agua, burbujeando y proporcionando el oxígeno.

**K. Alcalinidad**

Referido a la capacidad tampón del agua; es decir la capacidad de neutralizar. Esto evita que el nivel de pH del agua llegue a ser muy ácido o básico, haciendo que su valor gire alrededor de 7. Además, si la acidez se torna alta la alcalinidad del agua tiende a disminuir, lo que podría generar

condiciones que dañen la vida marina. La química del agua usualmente es expresada en ppm o mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . La alcalinidad total es calculado sumando las tres clases de alcalinidad: del carbonato, bicarbonato e hidróxido.

#### **L. Carga eléctrica**

Referida a la carga de un ión y que se establece en función al número de electrones. Un ión  $\text{Cl}^-$  es básicamente un átomo de Cl que adquirió un electrón, mientras un ión  $\text{Mn}^{+2}$  es un átomo de Mn que perdió 2 electrones.

#### **M. Coagulación**

Ocurre cuando se logra desestabilizar las partículas coloidales al adicionar un reactivo químico, conocido como coagulante, el cual ocurre mediante la neutralización de cargas.

#### **N. Efluente**

Flujos que salen de algún sistema de agua y que despacha este hacia tanques de oxidación o hacia un tanque para que se depure biológicamente esta agua., y es conocido como un producto dado por el sistema.

#### **O. Evaluación cualitativa del agua**

Análisis que se hace al agua para que se describa sus características o visibilidad estática del agua.

#### **P. Evaluación cuantitativa del agua**

Análisis del agua que busca cuantificar sus propiedades y su concentración de los contaminantes o compuestos visando definir la calidad del agua.

#### **Q. Filtración**

Separación de sólidos y líquidos usando una sustancia porosa que solo permite pasar al líquido a través de él.

**R. Lixiviación**

El proceso mediante cual los elementos que constituyen el agua se disuelven y se filtran por intermedio del suelo a través de la percolación del fluido.

**S. Metal pesado**

Metal cuya densidad es mayor a 5.0 y posee alto peso elemental. Gran parte de estos tienden a ser tóxicos, inclusive a bajas concentraciones para los humanos.

**T. Monitorización del agua**

Proceso constante de control de un cuerpo de agua por muestreo y análisis.

**U. Neutralización**

Se refiere a que se adicionan ciertas sustancias que puedan neutralizar el agua, visando que no sea muy ácida ni básica. No significa que se tenga un pH de 7.0, únicamente dice acerca el punto de equivalencia de una reacción ácido-base.

**V. Oxidación**

Reacción química que ocurre y en donde iones tienden a transferir e-, y donde aumenta la carga positiva.

**W. Parámetro**

Propiedad o variables que se pueda medir, y cuyo valor se determina en función a las características del agua, por ejemplo; la densidad, presión, temperatura, etc.

**X. pH**

Valor que indica si una dada sustancia es neutra, ácida, o básica, y se calcula a través del número de iones de H<sup>2</sup> presente. Es cuantificado usando la escala de 0 a 14, siendo que 7 indica que tal sustancia es neutra, mientras

valores debajo de 7 nos dice que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 dice que la sustancia es básica.

#### **Y. Planta de tratamiento**

Estructura diseñada para tratar agua residual previo a su descarga dentro el medio ambiente.

### **2.4. Formulación de hipótesis**

#### **2.4.1. Hipótesis General**

Evaluando los resultados de la dosificación de alcalina se logrará reducir el manganeso en el agua de mina en pruebas a nivel de laboratorio.

#### **2.4.2. Hipótesis específica**

- Si logramos determinar la caracterización y la concentración de manganeso en el agua de mina podremos, se podrá tomar medidas para mitigar los efectos al ambiente.
- Se logra la concentración óptima de la solución alcalina a un determinado pH para la remoción de manganeso, en las pruebas a nivel de laboratorio al emplear como muestra el agua mina.

### **2.5. Identificación de variables**

#### **2.5.1. Variable Independiente**

Remoción de manganeso

#### **2.5.2. Variable Dependiente**

Dosificación de solución alcalina (cal).

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

**Tabla N°04. Remoción de manganeso empleando el método de reducción-alcalinización en pruebas a nivel de laboratorio en aguas contaminadas por las actividades mineras de la región Pasco**

| DEFINICIÓN DE VARIABLES                    | DIMENSIONES       | INDICADORES      |
|--|-------------------|------------------|
| <b><u>Variables dependientes:</u></b>      |                   | pH 7.00          |
| <b>Solución alcalina</b>                   |                   | pH 8.00          |
| solución constituida por NaO + agua que    |                   | pH 9:00          |
| será básicamente el hidróxido de calcio,   | pH                | pH 10.00         |
| pudiendo variar el porcentaje de su        |                   | pH 11.00         |
| concentración.                             |                   | pH 12.00         |
|  |                   | <b>Manganeso</b> |
|  |                   | <b>mg/L</b>      |
| <b><u>Variable Independientes:</u></b>     | Composición       | 271.37           |
|  | química (antes,   | 141.06           |
| <b>Remoción de Manganeso:</b>              | durante y después | 135.68           |
| Reducción de la cantidad de Mn presente en | del tratamiento)  | 22.53            |
| las aguas cuya procedencia es minera.      |                   | 16.54            |
|  |                   | 18.80            |

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

La presente investigación es centrada dentro del tipo experimental, ya que se manipula la variable independiente y por ende se logra modificar la variable dependiente teniendo como propósito evaluar y analizar los resultados obtenidos.

La investigación experimental es aquella donde se obtiene datos a través de la experimentación y los compara con variables constantes, a fin de determinar las causas y/o los efectos de los fenómenos en estudio.

#### **3.2. Nivel de investigación**

Los estudios realizados en la investigación se alinean a un nivel relacional, el cual tiene un enfoque científico, son de tipo básico o puro, ya que se busca incrementar el conocimiento existente en la realidad y en el campo teórico; además permite establecer dos cosas, la primera si las variables se encuentran relacionadas y la segunda que tan fuerte es esa relación

### **3.3. Métodos de investigación**

#### **Analítico - inductivo**

Analítico dado que los resultados revelan el comportamiento químico de todas las muestras preparadas en las diferentes pruebas realizadas, los cuales van ser analizados, como influye el pH en un medio alcalino en la remoción de la concentración del manganeso en el agua.

Inductivo debido a que por intermedio de las observaciones, análisis y comprobación de la hipótesis se puede alcanzar una conclusión.

### **3.4. Diseño de investigación**

Para el desarrollo de este trabajo fue aplicado el diseño completamente al azar (DCA) a través 6 unidades experimentales y 2 repeticiones para determinar la condición adecuada del para la remoción de los iones de manganeso (II), asimismo, el diseño factorial 2k, de la siguiente forma de 6 muestras de diferentes concentraciones de mg/L en cada uno de ellos, en la cual se hace una evaluación de pretest y postest de los resultados debido a que se hace un control del pH y además, fue evaluado la variable dependiente (remoción del Mn); en pocas palabras primero se desarrollado un pretest a través del análisis del agua de mina (sin tratamiento), para posterior dosificar la lechada de cal en cada jarra por un tiempo de 10 minutos a 100 rpm de agitación y, por último, fue desarrollado un postest donde se analizó el agua de mina después del tratamiento.

Campbell & Stanley (1995) en sus investigaciones sostuvieron que los diseños experimentales están constituidos de 03 tipos de experimentos: experimentos puros o verdaderos, cuasi experimentos y preexperimental. En este caso el diseño preexperimental es el que he empleado dado que se aplicó un análisis o prueba previo a introducir la variable independiente ( $O_1$ ) y posterior a ello otra aplicación o introducción ( $O_2$ ); así si el análisis es administrado previo a

la introducción de la variable independiente se le conoce como pretest y si es administrado posterior se le conoce como posttest.

El Diagrama del diseño pre-experimental de grupo único con pretest y posttest es como sigue:

G: O<sub>1</sub> -----X ----- O<sub>2</sub>

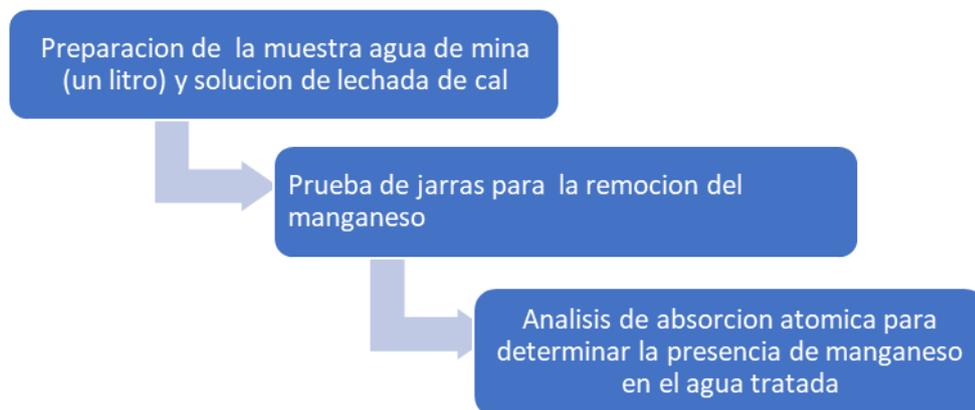
Donde:

G: Grupo (agua de mina)

O<sub>1</sub>: muestra a analizar inicial del agua de mina (sin dosis de lechada de cal).

X: Aplicación de la dosis de la lechada de cal

O<sub>2</sub>: muestra a analizar final posterior del agua de mina (con dosis de lechada de cal)



**Ilustración 4: Diagrama de flujo de las etapas de la investigación**

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

En esta investigación fue tomada como población las aguas provenientes de las operaciones mineras que se encuentran en la actualidad en operación y en abandono (depósitos de relaves y pasivos ambientales) en la provincia de Pasco, de los vertimientos que se realiza al cuerpo receptor de los ríos: Ragra y San Juan de la región Pasco.

### 3.5.2. Muestra

La muestra se representó con 6 litros de agua de mina (agua industrial cruda) quien fue dividido en 1 litro para cada vaso precipitado, y que fue empleado para llevar a cabo la parte experimental (test de jarras). Una vez finalizado la prueba de jarras, las muestras fueron secadas a 250 mL para todas las muestras, y el precipitado obtenido se enviaron al laboratorio Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión para su análisis respectivo. Tabla 05: Código de las muestras en las Jarras Código demuestra

Descripción

Pretest P<sub>0</sub> No se dosifico con la lechada de cal.

**Tabla N° 05. Postest de los ensayos a realizar con los equipos de jarras**

| Numero de Muestras | pH | Concentración de manganeso (mg/L) |
|--------------------|----|-----------------------------------|
| Muestra 1          | 7  | 271.37                            |
| Muestra 2          | 8  | 141.06                            |
| Muestra 3          | 9  | 135.68                            |
| Muestra 4          | 10 | 22.53                             |
| Muestra 5          | 11 | 16.54                             |
| Muestra 6          | 12 | 18.80                             |

### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Este proyecto fue realizado para con el intuito de tener una diversidad de instrumentos y técnicas que se describen a continuación:

#### 3.6.1. Técnicas de campo

Las muestras se recolectaron aplicando el “protocolo nacional para el monitoreo de calidad de los recursos hídricos superficiales” R.J. N°010-2016-ANA, y que posterior a ello fueron enviados al laboratorio, donde se hicieron los respectivos ensayos, mientras la medición del pH fue usando el equipo multiparámetro.

### **3.6.2. Instrumentos de recolección de datos**

**Materiales:** Lapicero, rotulo, preservante, cuaderno de campo

El análisis de los datos obtenido del informe de ensayo de laboratorio, se utilizarán tablas y gráficos con el programa Microsoft Excel.

## **3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

**3.7.1. Selección:** La recopilación y selección de los datos usados en el presente estudio, fue obtenido de una base de datos y de la toma de datos en campo.

**3.7.2. Validación:** Los datos para la obtención y análisis de la investigación se ha lleva cabo visando los ríos: **Ragra, San Juan** con la finalidad de plantear mejoras en el tratamiento del agua de mina, con la finalidad de lograr el cumpliendo Límites Máximos Permisibles (LMP) del **D.S. N° 010-2010-MINAM** y **D.S. N° 004-2017-MINAM** donde aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, en cuanto al contenido, se valida su autenticidad.

**3.7.3. Confiabilidad:** Los datos obtenidos para el análisis de calidad del agua de los ríos: Ragra, San Juan, procedente de las empresas mineras como Cerro SAC, Brocal, Vinchos y otros procedentes de los pasivos ambientales, con la finalidad de plantear mejoras en el tratamiento del agua de mina en el contenido de manganeso, tienen confiabilidad, los datos tomados se realizaron varias veces y en diferentes puntos para ser sometidos a una prueba de jarras

## **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Los datos fueron recolectados aplicando el trabajo en laboratorio “prueba o test de jarras” en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería

Ambiental, mientras los resultados encontrados a través el análisis de las muestras de agua fueron desarrollados en las instalaciones del laboratorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Los instrumentos empleados en este trabajo constaron de equipos, materiales y reactivos presentados en la tabla 06.

**Tabla N°06. Equipos, materiales y reactivos usados en el experimento**

| <b>Equipos</b> | <b>Materiales</b>                            | <b>Reactivos</b>      |
|----------------|--|-----------------------|
| Test de jarras | Hojas de datos de campo (cadena de custodia) | Óxido de calcio (CaO) |
| Multiparametro | Vasos precipitados de 1000 ml                |                       |
|                | Frascos de polietileno de 250 ml             |                       |
|                | Jeringa                                      |                       |

**A. Técnica de la recolección de muestra de agua en campo:**

Basado al Protocolo de Muestreo de Aguas Industriales y del MEM “Protocolo de monitoreo de calidad de agua” Sub-sector minería debe considerarse 02 tipos de muestras que deben llevarse a cabo: muestras que se toman al azar o puntuales y las compuestas.

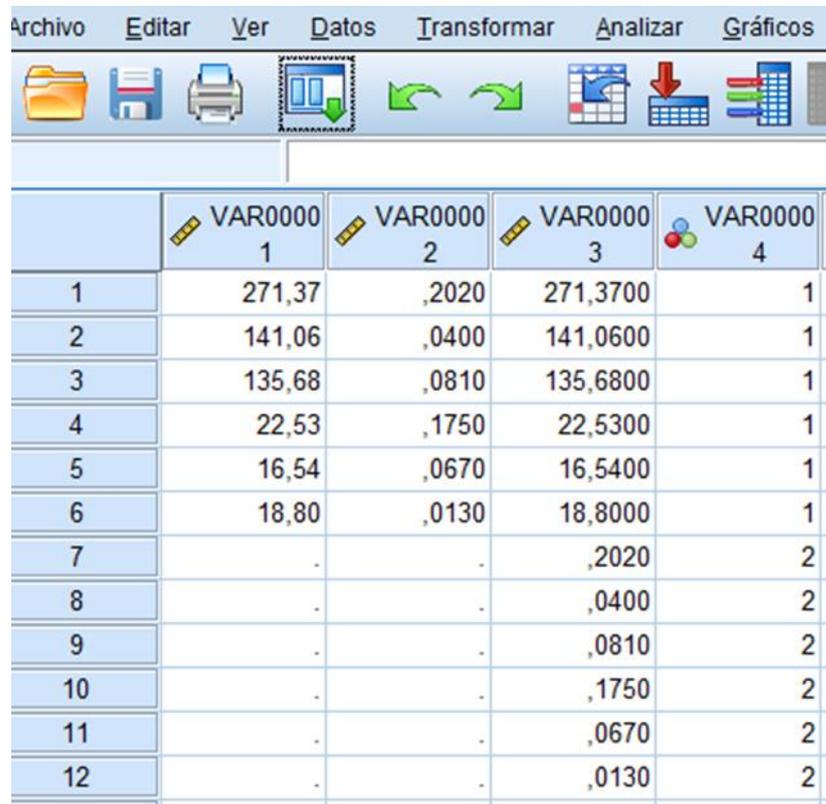
Aquí, la técnica aplicada durante la toma de muestra de agua en campo fue a través al azar (puntuales), cuya técnica es la más usada cuando se monitorea agua superficial en la mina, el cual fue colectada a un dado momento y considerando el recorrido del flujo de agua.

**3.9. Tratamiento estadístico**

Para el análisis de las muestras estadísticamente, se realizó con el software SPSS, consignando el parámetro de la t student para muestras

independientes, basado en un muestreo antes y el otro después cada uno con seis datos de concentración de manganeso ver figura.

**Figura 1:** Procesamiento estadístico



|    | VAR0000<br>1 | VAR0000<br>2 | VAR0000<br>3 | VAR0000<br>4 |
|----|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1  | 271,37       | ,2020        | 271,3700     | 1            |
| 2  | 141,06       | ,0400        | 141,0600     | 1            |
| 3  | 135,68       | ,0810        | 135,6800     | 1            |
| 4  | 22,53        | ,1750        | 22,5300      | 1            |
| 5  | 16,54        | ,0670        | 16,5400      | 1            |
| 6  | 18,80        | ,0130        | 18,8000      | 1            |
| 7  | -            | -            | ,2020        | 2            |
| 8  | -            | -            | ,0400        | 2            |
| 9  | -            | -            | ,0810        | 2            |
| 10 | -            | -            | ,1750        | 2            |
| 11 | -            | -            | ,0670        | 2            |
| 12 | -            | -            | ,0130        | 2            |

### 3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Este proyecto se orientó en demostrar la solución frente a la contaminación de las aguas por presencia de manganeso, producidos a consecuencia de las operaciones mineras, labores abandonadas, de los depósitos de relaves y pasivos ambientales en la provincia de Pasco, sobre todo en el agua que es un elemento vital y de variada importancia en nuestra vida y para todo ser viviente.

La orientación ética de este trabajo está volcada a aplicar la ética profesional, que son referidas principalmente a una serie de estudios revisados y

utilizados con el debido respeto de la información empleada previa citación de cada autor, evitando caer en el plagio de la información.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Descripción del trabajo de campo

##### Análisis de la muestra

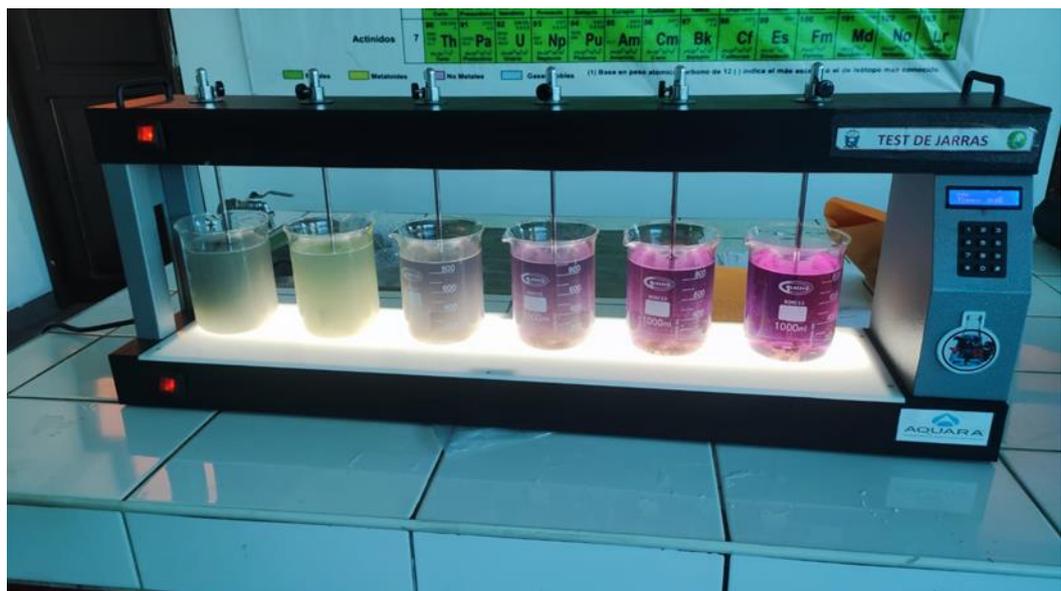
En la mesa de trabajo se tienen las muestras de las siguientes concentraciones de: 271.37, 141.06, 135.68, 22.53, 16.54, 18.80 mg/L de  $Mn^{+2}$  respectivamente, el cual para proceder a realizar los ensayos se realiza una homogenización de las mencionadas soluciones, para luego ser colocadas en seis (6) vasos de precipitado de un volumen de 1000 ml. Como se muestra en la fotografía siguiente.



**Ilustración 8: Mesa de preparación de muestras**

El color de los iones de Mn cuando se encuentra en disolución no siempre muestra el mismo que el de su sal correspondiente en fase sólida. Esto es debido a que los iones de Mn tienden a formar complejos con el agua dado que acepta electrones del orbital atómico d. Asimismo, el comportamiento de aceptar diversos electrones está en función de la temperatura y pH, así, si se modifican estas variables o sus cantidades, los colores tienden a variar, siendo que este cambio se genera en diferentes momentos del experimento (Prolongo & Pinto, 2018).

Generalmente para la obtención de agua tratada, es necesario conocer ciertas características fisicoquímicas y químicas, esto se logra a través de la implementación de los procesos de clarificación y estabilización química. En nuestro caso se ha utilizado las pruebas de jarra para determinar la remoción de manganeso, como se presentado en la ilustración siguiente:



**Ilustración 9: Prueba de jarras para la remoción de manganeso**

Las muestras de agua utilizada a diferentes concentraciones son sometidas a las pruebas de jarras con los equipos adecuados por un tiempo de 30 minutos manteniendo la agitación constante de 100 rpm, y con la adición de cal (CaO) para lograr controlar el pH deseado en la solución a valores de medición

aproximadas de: 7, 8, 9, 10, 11 y 12 respectivamente, el cual se ha verificado usando el equipo del multiparámetro en la muestra del agua.

En la cual se lleva a cabo las reacciones redox debido a la presencia de iones y aniones, el cual genera una serie de reacciones química en la que las moléculas, átomos o iones pierden o ganan electrones, modificando sus estados de oxidación. Así, el agente oxidante es aquel que gana e-, reduciéndose durante la reacción, mientras un agente reductor es quien pierde e-, oxidándose en la reacción.

Los electrones (e-) se encuentran disponibles en niveles de energía conocidas como capas electrónicas, quienes se subdividen en subcapas que forman orbitales. El Mn como metal de transición tiende a tener uno o más e- dentro su orbital d más externo, cuya diferencia de energía entre los e- encontrados en este orbital es bastante pequeña, motivo por el que los cationes tienden a mostrar diversas formas para que establezcan enlaces químicos dándose diversos números de e- en el orbital d, razón por la que los metales de transición muestran diversos estados de oxidación.

Los e- usualmente absorben ciertas frecuencias de radiación electromagnética, haciendo que salten hacia un nivel de energía más elevado. En gran parte de metales de transición, la diferencia de energía entre estos del orbital d se refiere a la energía del espectro de luz visible. Por ejemplo, e- del orbital d del ion Mn tienden a absorber radiación electromagnética del color amarillo del espectro visible, siendo observado este color como la disolución de iones Mn que es el complementario, ósea, el color púrpura. Se observa el color de la longitud de onda restantes que no ha sido absorbida.

Lo que se quiere comprobar en la investigación es lograr un proceso de remoción de los iones manganeso ( $Mn^{+2}$ ) reducido, al ser sometido a diferentes concentraciones de pH y determinar su comportamiento más óptimo, para ello se ha empleado los fundamentos teóricos del método del intercambio iónico.

En la naturaleza del suelo de la provincia de Pasco, el manganeso se encuentra formando sales mineralizadas como: Magnetoplumbita, Manganita, Manganocromita, Manganosita, Manganvesubianita, Manjiroíta y otras, al entrar en contacto muchas de estas sales son solubles con el agua se disuelven fácilmente, mientras que otras son insolubles que demoran muchos años o se dan las condiciones adecuadas al cambiar del medio ácido del agua que permitan su dilución a transformarse en iones ( $Mn^{+2}$ ) adquieren la carga positiva de su estructura atómica. También en el agua encontramos la presencia de aniones como:  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $CO_3$ ,  $OH^-$  y otros (estructuras atómicas y moleculares con cargas negativas) presente en la solución electrolítica y ofrece otros iones de similar carga para la solución en cantidades parecidas. El intercambio iónico es conocido como un método correcto y de gran éxito para eliminar metales presentes dentro de efluentes industriales y mineros.



**Ilustración 10: Se aprecia el uso del equipo para las pruebas de Jarras en pleno funcionamiento**

Para los análisis químicos de las muestras obtenidas es necesario realizar la preparación de las muestras para el cual se emplea la plancha en donde se lleva a cabo la descomposición de las muestras, donde es adicionado HCl, seguidamente el  $\text{HNO}_3$ , mientras la reducción de volumen referido a las muestras es trabajada en fiolas volumétricas para ser leído la concentración del elemento.



**Ilustración 5: Preparación de las muestras a través del ataque químico**

### **Sala de absorción atómica**

Con el equipo de absorción atómica es posible hacer la lectura de la concentración de Mn en las muestras. Este es un análisis cuantitativo porque cuantifica el analito de interés (manganeso) dentro de la muestra.



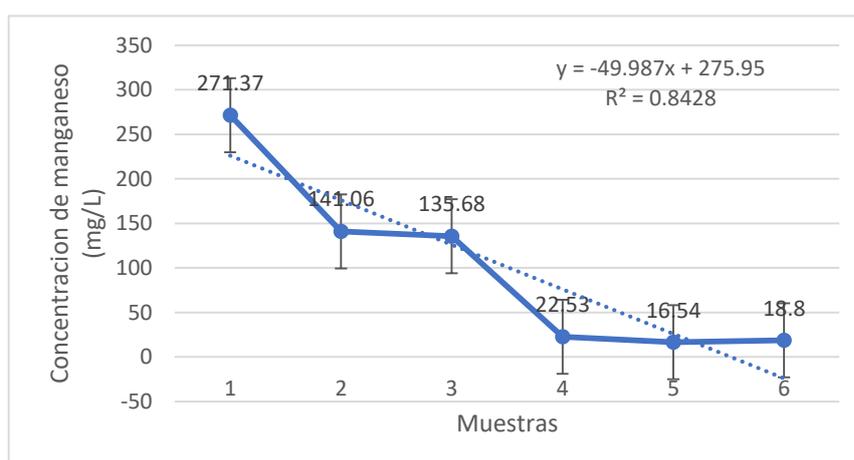
**Ilustración 6: Sala de absorción atómica para obtener los resultados**

#### 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Los resultados de la concentración de Mn recolectado en 6 puntos de muestreo, y quienes fueron cuantificados a través de la espectroscopia de absorción atómica (EAA) es presentado en la Tabla 07.

**Tabla N°07. Resultados de los ensayos de absorción atómica antes de realizar las pruebas de jarra**

| Muestras                                    | Concentración mg/L de Mn |
|---|--------------------------|
| 1   | 271.37                   |
| 2   | 141.06                   |
| 3   | 135.68                   |
| 4   | 22.53                    |
| 5   | 16.54                    |
| 6   | 18.80                    |
| LMP   | --                       |
| DS N° 010-2010-MINAN                        | --                       |
| D.S. N° 004.2017-MINAN (ECA categoría 3 D1) | 0.2                      |
| D.S. N° 004.2017-MINAN (ECA categoría 3 D2) | 0.2                      |

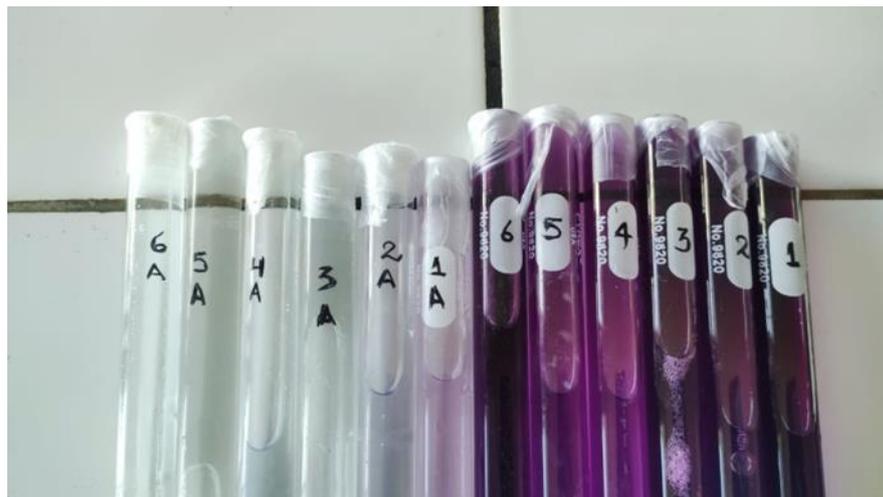


Como se puede apreciar en la tabla 07, los parámetros de los efluentes mineros cumplen con los Límites Máximos Permisibles porque no se contempla un máximo valor en el límite para el caso del manganeso, pero con respecto a los valores de referencia de la normativa peruana Estándares de Calidad Ambiental

(ECA) para Agua en la Categoría 3 y las normativas internacionales sobre pasa estos valores a los límites establecidos que nos indica a  $\leq 0.2$  mg/L.

### **Resultados de la prueba de jarras con dosificación de lechada de cal al agua de mina**

Los resultados de pH y la concentración de Mn se que obtuvo a través de la dosificación usando la lechada de cal a diferentes cantidades. Comparado a los resultados reportados de la tabla 07, el Mn redujo su concentración a valores por debajo de los Límites Máximos de los ECAs de agua establecidos  $\leq 0.2$  mg/L). así, es concluido que la dosificación de lechada de cal mostró efectos significativos para que el Mn sea removido del agua de mina de las diferentes concentraciones estudiadas.



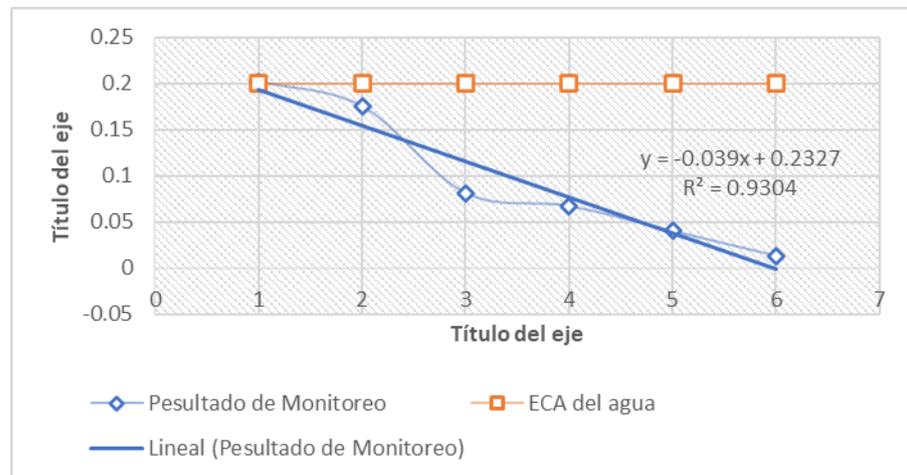
**Ilustración 13: Se muestra aguas con alto concentraciones de Manganeso y después del tratamiento realizado con la adición de cal**

Después de realizado los ensayos de las muestras de las pruebas de jarras al emplear la cal para regular el pH, se puede notar que ha existido una variación notable de la remoción del manganeso. A continuación, se muestra los resultados obtenidos por los ensayos realizados en base a la espectroscopia de absorción atómica Tabla 08.

**Tabla N° 08: Resultados de los ensayos de absorción atómica de la prueba de jarra al suministrar la cal**

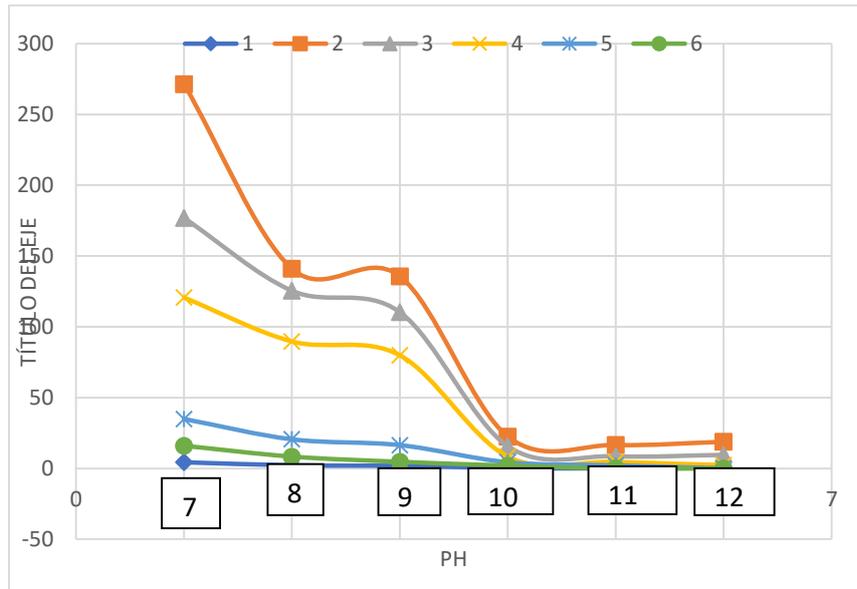
| Muestras   | Concentración mg/L de Mn |
|--|--------------------------|
| 1-A  | 0.202                    |
| 2-A  | 0.040                    |
| 3-A  | 0.081                    |
| 4-A  | 0.175                    |
| 5-A  | 0.067                    |
| 6-A  | 0.013                    |
| LMP<br>DS N° 010-2010-MINAN                        | --                       |
| D.S. N° 004.2017-<br>MINAN (ECA categoría 3<br>D1) | 0.2                      |
| D.S. N° 004.2017-<br>MINAN (ECA categoría 3<br>D2) | 0.2                      |

En el siguiente diagrama se aprecia la comparación de los resultados obtenidos de las pruebas de jarras realizadas con referencia a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) D.S. No 004.2017-MINAN para Agua Categoría 3: D1 y D2, en el cual nos señalan que el límite debe ser < 0.2 mg/L.



**Ilustración 14: Resultados de Monitoreo y ECA del agua**

Se realizaron las pruebas de remocion de manganeso empleando seis (6) valores de pH. Al cambiar de nectro (7) a pH alcalino (12), se pudo notar una reduccion significativa del manganeso en el agua al comprobar que se logra una máxima remocion a los 30 minutos de agitacion constante hasta valores de 99.9 % a un pH 10.



**Ilustración 15: Muestras del efecto del pH en la remoción de manganeso**

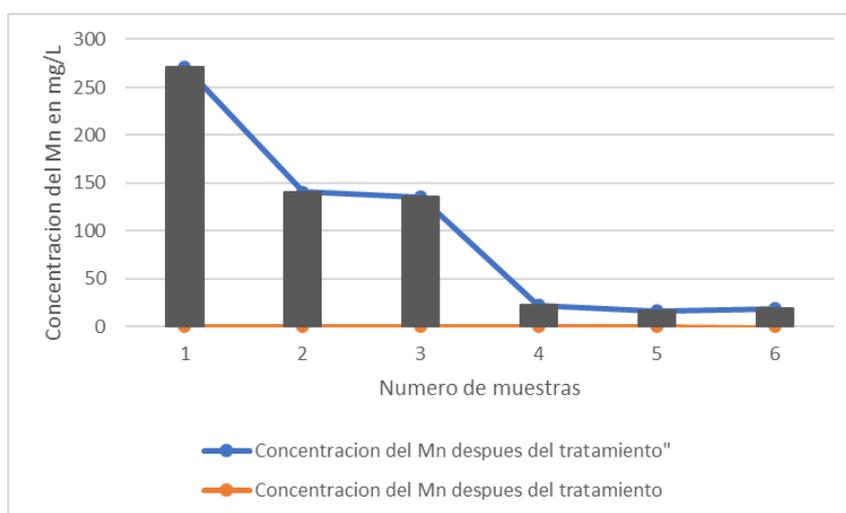
Otro aspecto importante a tener presente en la remoción de manganeso en el control del pH al incrementar la concentración de la cal al formar hidroxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ha valores cercanos de pH de 10 se logra la precipitación de este metal, para que se logre la formación de hidroxido de Manganeso ( $\text{Mn}(\text{OH})_2$ ) quien fue removido facilmente (Sharma et al., 2007).

**Tabla N° 09. Estadística descriptiva de las muestras**

| Muestra                     | N | Media      | Desv. Desviación | Desv. Error promedio |
|-----------------------------|---|------------|------------------|----------------------|
| Concentracion de Mn en mg/L | 6 | 100.996667 | 101.8639439      | 41.5857810           |
| Prueba sin Cal              | 6 | 0.096333   | 0.0755875        | 0.0308585            |
| Prueba con Cal              | 6 | 0.096333   | 0.0755875        | 0.0308585            |

### 4.3. Prueba de Hipótesis

La concentración del ion manganeso ( $Mn^{+2}$ ) contenida en el agua ácida y que es evacuado por las diversas minas está en el rango de 271.37 a 16.54 mg/L, mientras las pruebas que se realizaron usando la cal (CaO) presentaron valores por debajo de 0.2 mg/l, en función a lo requerido en la normativa ECA-2017. Estas muestras de agua que fueron tratadas tienen concentraciones de, 0.202 a 0.013 mg/L de manganeso, esto se logra a un pH de 10.00. lo que demuestra que la hipótesis planteada es correcta en cuanto al tratamiento del agua de las operaciones de mina al emplear la solución alcalina para incrementar el pH.



**Tabla Nº 10. Prueba de hipótesis para muestras independientes**

**prueba t para la igualdad de medias**

| Descrpción                  | Sig.  | t     | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias |
|-----------------------------|-------|-------|----|------------------|----------------------|
| Concentracion de Mn en mg/L | 0.002 | 2.426 | 10 | 0.036            | 100.9003333          |

**Interpretación:** De acuerdo al análisis estadístico según la t de student para muestras independientes el valor de la significancia es del 0.036 siendo menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula aceptando la hipótesis de la investigación probando que sí se remueve el manganeso de las aguas residuales

mineras e industriales a través de emplear en el tratamiento la reducción alcalina (Cal) ver tabla 10.

#### **4.4. Discusión de resultados**

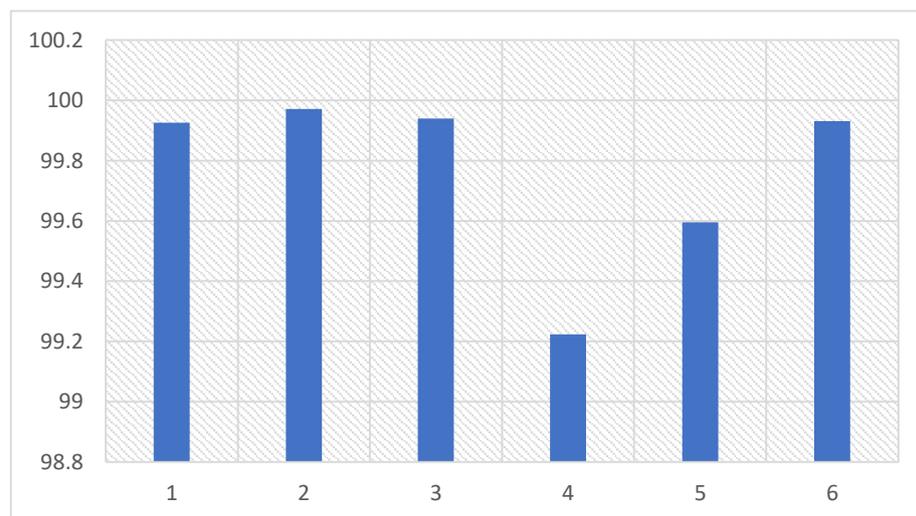
En la provincia de Pasco estás asentadas un grande número de compañías mineras que cuyas aguas acidas que se generan son tratadas en plantas de neutralización quienes aplican la cal como insumo químico como son los casos de Brocal, Cerro SAC, Pan American Silver, Chungar y otras, preocupadas por el cumplimiento de la normatividad vigente sobre la conservación del ambiente.

Todas estas compañías mineras en el tratamiento de sus aguas industriales tienden a reducir la concentración de metales que están disueltos (Cu, Pb, Fe, Zn), pero no llegan a reducir la concentración del Mn debido a que aún no se tenía el Límite Máximo Permisible de control dentro de lo dispuesto en el DS. 010-2010-LMP (Loroña & Gómez, 2017).

Los Estándar de Calidad Ambiental para agua fue aprobada por D.S. N° 004-2017-MINAM (MINAM, 2017), y que entró en vigencia a finales del año 2021 contempla el Límite de concentración de manganeso en el agua que no debe superar  $< 0.2$  mg/L motivo por el cual las compañías mineras estás llevando a cabo diversas pruebas experimentales de manera a reducir la concentración de Mn contenido en las aguas industriales, y así, intentar de cumplir con la normativa legal vigente, para que se garantice los ecosistemas de agua dulce.

Las labores mineras de extracción de los minerales a tajo abierto y mina, al entrar en contacto con el agua y el oxígeno en ese medio generan aguas ácidas con la presencia de metales pesados, las cuales al ser recolectadas en la superficie y con el tratamiento debido de las aguas eran vertidas a los cuerpos receptores, como: lagos, lagunas y ríos; en este caso específico son vertidas a los ríos: Ragra, San Juan, San José y la laguna Yanamate y otros, entre los 4100 y 4900 msnm, en la provincia y región de Pasco, esto fue el motivo para plantear

una solución sobre las hipótesis planteadas sobre la problemática existente en las unidades mineras que han visto por conveniente buscar alternativas de solución para tratar las aguas industriales que tengan la presencia de manganeso para reducir y mitigar sus concentraciones y no generen daños al ecosistema y adecuarse a la normativa legal DS. 004-2017-ECA (MINAM, 2017). El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) el cual concedió un plazo de adecuación a la empresa hasta diciembre del 2021, fecha a partir de la cual las aguas generadas por sus actividades que presenten Mn disuelto deben de ser adecuado al límite máximo permisible  $<.2$  mg/L. Para tal, fue considerado la cal (óxido de calcio), como un recurso atractivo basado a su costo bajo y porque está disponible en el mercado local



#### **Ilustración 16: Eficiencia de remoción de manganeso a un pH de 10**

En los resultados obtenidos se puede notar en la ilustración 15, que se consigue remover al manganeso hasta alcanzar porcentajes que van de 99.2 % a 99.9 % del total de su concentración esto se logra a un pH de 10. Logrando conseguir que las concentraciones de manganeso en las aguas de mina después de realizado el tratamiento se cumpla con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) D.S. No 004.2017-MINAN para Agua Categoría 3: D1 y D2, en el cual nos señalan que el límite debe ser  $< 0.2$  mg/L y los resultados obtenidos fueron iguales

y en algunos casos menores como los mostrados a continuación de: 0.202, 0.040, 0.081, 0.175, 0.067 y 0.013 mg/L respectivamente.

Con respecto a la hipótesis sobre los impactos ambientales que se han logrado determinar a consecuencia de la concentración de manganeso en las aguas que se vierten al cuerpo receptor, se detallan a continuación:

- **Caracterización de las aguas acidas de mina**

Las aguas ácidas de las minas de la provincia de Pasco, de las compañías mineras : Volcán, Pan American Silver, Chungar, Brocal y otras, tienen concentraciones de pH entre 4.5 y 6, contienen cationes y aniones en disolución, predominan los aniones de  $\text{SO}_4^-$  provenientes de los minerales sulfurados que entran en contacto con el agua acida, como la disolución de elementos metálicos como: Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Aluminio (Al), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Zinc (Zn), además de cadmio (Cd), Calcio (Ca), Sodio (Na), Potasio (K), Magnesio (Mg) y otros (Loza & Aduvire, 2017). El manganeso a concentraciones mayores 0.2 mg/L según los Estándar de Calidad Ambiental producen efectos nocivos al ambiente ya que genera daños irreparables en los sistemas acuáticos y de consumo, inhibe el crecimiento de las comunidades vegetales, afecta a la calidad de las aguas superficiales, subterráneas y acuíferos de poca profundidad (Aduvire, 2006).

- **Color y sabor del manganeso en el agua**

Así mismo, la concentración de manganeso produce una coloración verdosa a un violeta, y produce malos olores y un sabor desagradable, también constituye el medio adecuado para el crecimiento de microorganismos (hongos y bacterias), además existe evidencias de que a altas concentraciones por largos períodos están relacionadas con enfermedades del sistema nervioso como el Parkinson (Li et al., 2016).

- **Formación de precipitados**

Su presencia en el agua produce problemas a la salud y estéticos, hacen difíciles que se operan o se hagan mantenimiento del sistema de distribución y abastecimiento. Esto porque el Mn tiende a formar sarro que minimiza la capacidad que tienen las tuberías, haciendo que se pierda presión en la red de distribución, siendo necesarias acciones de mantenimiento, cambio continuo de tuberías, afectando la parte técnica y económica (Guillen et al., 2021).

## CONCLUSIONES

1. Las empresas mineras en nuestra región Pasco, no realizan el control de la remoción del contenido de manganeso en el tratamiento de sus aguas industriales debido a que no existe una normatividad vigente que exija su cumplimiento de los Límite Máximo Permisible de control dentro de lo dispuesto en el DS. 010-2010-MINAM (Loroña & Gómez, 2017).
2. Se realizaron experimentos de remoción de manganeso, en 6 muestras a diferentes concentraciones como se detalla a continuación al emplear soluciones alcalinas empleando CaO a un pH de 7, 8, 9, 10, 11 y 12, en pruebas de jarras, durante 30 min, a 100 rpm con concentraciones de manganeso de 271.37, 141.06, 135.68, 22.53, 16.54 y 18.80 mg/L y temperatura ambiente de 14 °C. Los resultados de capacidad máxima de remoción se muestra el mejor resultado se logra un pH de 10, cuya disminución del manganeso en la remoción se logra obtener a valores de  $\leq 0,2$  Limite ECA establecido por la normatividad peruana.
3. En los resultados obtenidos se pudo remover al manganeso hasta alcanzar porcentajes que van de 99.2 % a 99.9 % del total de su concentración esto se logra a un pH de 10. cumpliendo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) D.S. No 004.2017-MINAN para Agua Categoría 3: D1 y D2, en el cual nos señalan que el límite debe ser  $< 0.2$  mg/L y los resultados obtenidos fueron iguales y en algunos casos menores como los mostrados a continuación de: 0.202, 0.040, 0.081, 0.175, 0.067 y 0.013 mg/L respectivamente.
4. Los Estándar de Calidad Ambiental para agua fue aprobada por D.S. N° 004-2017-MINAM (MINAM, 2017), en el cual entró en vigencia a finales del año 2021, da cumplimiento al Límite de concentración de manganeso en el agua que no debe superar  $< 0.2$  mg/L por ello las empresas mineras están obligadas realizar el cumplimiento de la norma vigente.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda a las empresas mineras de la región Pasco, realizar una evaluación de la calidad de agua del vertimiento que realizan a los cuerpos receptores con respecto al contenido de manganeso con la finalidad de cumplir con D.S. No 004.2017-MINAN para Agua Categoría 3: D1 y D2.
2. También debe contemplarse en la normativa ambiental peruana el límite máximo permisible para manganeso.
3. Las instituciones del estado en materia ambiental: MINAM, OEFA, MINEM, ANA y otros, deben realizar las fiscalizaciones con la finalidad de que se implemente medidas de control del manganeso en las aguas residuales industriales, con la finalidad de preservar la salud de las personas y nuestros ambientes naturales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo Luyo, K. A. (2015). Tratamiento de aguas ácidas de drenaje de mina con alto contenido de aluminio y manganeso por tecnología de lodos de alta densidad (HDS). *Universidad Nacional de Ingeniería*.  
<http://repositorio.uni.pe/handle/uni/4508>
- Aduvire, O. (1991). Drenaje Ácido de Mina. Generación y Tratamiento. *Instituto Geológico y Minero de España*, 51.  
[http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258\\_0000001.pdf](http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258_0000001.pdf)
- AEC, Q. (s. f.). *Legislacion ambiental*. <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/legislacion-ambiental>
- Ambiental, D. C. (2008). *Calidad de agua. II*.  
<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/estudios/EIAS-hidrocarburos/EIA/EIA CEPESA LOTE 114/SubCap 1.7 Calidad de Agua.pdf>
- Ayzanoa Alca, K. L., & Mendoza Tata, J. L. (2018). *Remoción del mananeso del efluente minero metalurgico utilizado en el proceso de oxidación con hipoclorito de calcio en una planta de tratamiento de aguas ácidas-ubicada en la región Huancavelica*.  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAC\\_3b02d4f0afb67b08a376fa0f77bddfdc](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAC_3b02d4f0afb67b08a376fa0f77bddfdc)
- Barreto Baltazar, H. L. (2016). Efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón- La Libertad. *Universidad César Vallejo*.  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV\\_5f558c68d62aee75f5bf4696bdb97002](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_5f558c68d62aee75f5bf4696bdb97002)
- Bianchini, F., & Grassi, L. (2018). *Biomonitoreo de Metales en Niños y Niñas del Centro Poblado de Paragsha Cerro de Pasco - Perú*. 31.  
<http://www.laborpascooperu.org.pe/images/adjuntos/Estudios Cerro de Pasco.pdf>
- CONCEPTODEFINICIÓN. (s. f.). *Reducción*. <https://conceptodefinicion.de/reduccion/>

Cotton, F., & Wilkinson, G. (1986). *Química Inorgánica Avanzada. Mexico* (E. L. S.A. (ed.)).

de la Cruz Lima, Y. (2019). *Efecto de la dosificación de lechada de cal en la remoción del manganeso del agua de mina de la UM Huaron 2018.*

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCON\\_7347f329d1470c1bd1e28e4eeacc9b4b](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCON_7347f329d1470c1bd1e28e4eeacc9b4b)

Del Águila Guadalupe, N. (2015). Gestión de efluentes, tratamiento de aguas ácidas y precipitación de aluminio y manganeso en la planta de tratamiento de la Empresa Minera de Yanacocha. *Universidad Nacional de Ingeniería.*

<http://repositorio.uni.pe/handle/uni/2742>

DYNAFLUX. (s. f.). *APAGADO DE CAL Y DOSIFICACIÓN DE LECHADA.*

<https://www.dynaflux.com.pe/apagado-de-cal-y-dosificacion-de-lechada/>

Echegaray Contreras, R. K. (2018). *Remoción del Manganeso con el Método de Reducción-Alcalinización en las aguas contaminadas por los procesos mineros en la Provincia de Huaral 2017.*

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCON\\_344c6fc8e287817a8b18ca59e0ef78a7](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCON_344c6fc8e287817a8b18ca59e0ef78a7)

Española, R. A. (s. f.). *Manganeso.* <https://dle.rae.es/manganeso>

Folchi, M. (2005). Los efectos ambientales del beneficio de minerales metálicos: un marco de análisis para la historia ambiental. *Varia Historia*, 21(33), 32–57.

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-87752005000100003](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-87752005000100003)

Hem, J. D. (1976). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. *Heart and Lung: Journal of Acute and Critical Care*, 5(1), 44–61.

INTICAL. (s. f.). *Planta móvil de lechada de cal.* <https://www.intical.com.pe/brochure-lechada-de-cal.pdf>

Loza, N., & Aduvire, O. (2018). *Optimización de un proceso de tratamiento de aguas ácidas de mina para reducir contenidos de manganeso mediante neutralización*

*secuencial*. 1, 1–13.

[https://www.academia.edu/42080155/Optimizaci3n\\_de\\_un\\_proceso\\_de\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_3cidas\\_de\\_mina\\_para\\_reducir\\_contenidos\\_de\\_manganeso\\_mediante\\_neutralizaci3n\\_secuencial](https://www.academia.edu/42080155/Optimizaci3n_de_un_proceso_de_tratamiento_de_aguas_3cidas_de_mina_para_reducir_contenidos_de_manganeso_mediante_neutralizaci3n_secuencial)

Martínez Meza, R. G., Certucha Barragán, M. T., Zavala Rivera, P., Gómez Álvarez, A., & Almazán Holguín, L. A. (2016). Remoción de hierro y manganeso de un efluente contaminado utilizando una resina quelante. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(Special Issue 1).

<https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp02.05>

Matamoros Caruman, F. N. (2019). *Evaluación técnico-económica de la remoción de manganeso desde soluciones acuosas mediante el uso de procesos de adsorción*. 75.

<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/170590/Evaluaci3n-t3cnica-econ3mica-de-la-remoci3n-de-manganeso-desde-soluciones.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MINAM. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. *El Peruano*, 6–9.

<http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

Ministerio de Energía y Minas - Perú. (1999). Guía ambiental de manejo de agua en operaciones minero-metalúrgicas. *Ministerio de Energía y Minas - Perú*, 24.

<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/manejoagua.pdf>

Ministerio del ambiente. (2007). Sa. *Normativa*, Normativa.

<http://www.ambiente.gob.ec/el-ministerio/>

Ministerio del Ambiente. (2012). Glosario de términos para la gestión ambiental peruana. *Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental*, 396.

Mirra Rodríguez, Saúl Flores, Maiella Rangel, Liz Cubillán\*, A. A. (2015). Un estudio de la remoción de manganeso (II) a partir de sistemas acuosos usando cápsulas

de moringa oleifera como bioadsorbente. *Revista CENIC*, 46(li), 424–433.

<https://revista.cnic.edu.cu/index.php/RevBiol/article/view/68/68>

Parada, F., Vergara, F., & Sánchez, M. (2018). *ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE LA POLUCIÓN DE AGUAS ÁCIDAS SUBTERRÁNEAS EN LA MINERÍA DEL COBRE*. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2519-53522018000200002](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522018000200002)

PNUMA. (2010). *PNUMA ANUARIO AVANCES Y PROGRESOS CIENTÍFICOS EN NUESTRO CAMBIANTE MEDIO AMBIENTE 2010 Programa*. <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/pnuma-anuario-2010-avances-progresos-cientificos-nuestro-cambiante>

SÁNCHEZ MERCHÁN, C. D. (2020). *Estudio de la remoción de manganeso y hierro en el módulo II de la planta de tratamiento de agua potable de Tixán*. <http://201.159.222.99/handle/datos/10224?locale=es>

Schoemaker, A. (2017). *Glosario Ambiental: Conociendo los términos ambientales usados en zonas mineras*. 1–44. [http://democraciaglobal.org/wp-content/uploads/tomo-1\\_optimize.pdf](http://democraciaglobal.org/wp-content/uploads/tomo-1_optimize.pdf)

Sicupira, D. C., Silva, T. T., Ladeira, A. C. Q., & Mansur, M. B. (2014). Adsorption of manganese from acid mine drainage effluents using bone char: Continuous fixed bed column and batch desorption studies. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 32(2), 577–584. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20150322s00002681>

Wikipedia. (s. f.-a). *Cuerpo receptor*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Cuerpo\\_receptor](https://es.wikipedia.org/wiki/Cuerpo_receptor)

Wikipedia. (s. f.-b). *Manganeso*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Manganeso>

## **ANEXOS**

## CALERA REBECA S.C.R.L. (PERÚ)

Principales Actividades: Fabricación de Otros Productos Químicos y Preparados

Tabla N° 11: Ficha técnica de la empresa comercializadora de Cal

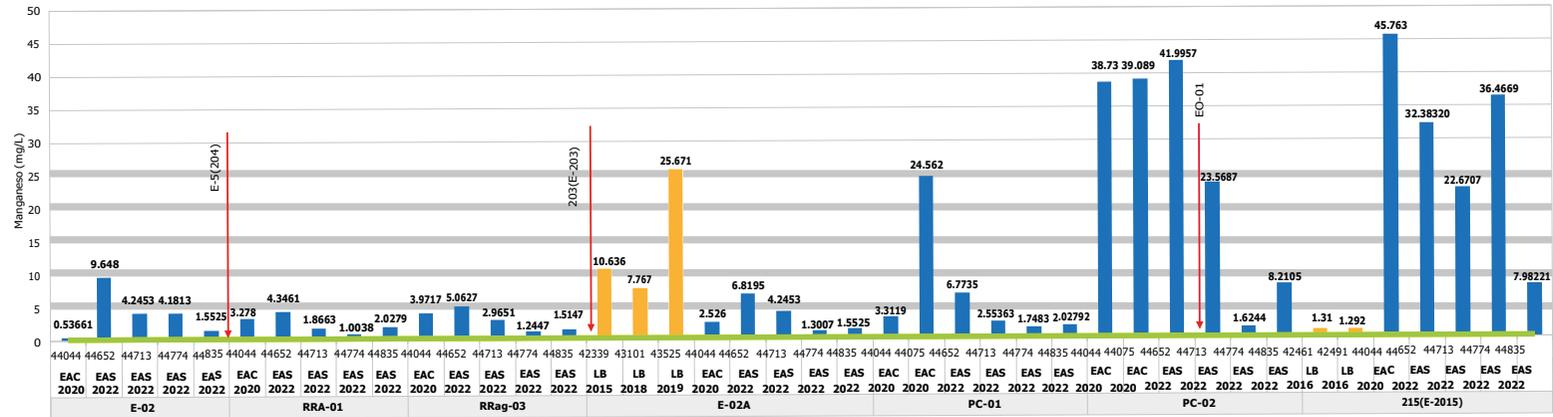
| INFORMACION DEL PROVEEDOR DEL INSUMO QUIMICO  |                                      |                                   |   |  |      |                    |
|---|--------------------------------------|-----------------------------------|---|--|------|--------------------|
| CALERA REBECA SRL<br>Planta industrial:<br>Huarapampa - Quiulacocha - Simón Bolívar<br>Pasco -Perú  |                                      |                                   | Información:<br>993044553                     |  |      |                    |
| Proveedor Autorizado por la Intendencia Nacional de Insumos Químicos y Bienes Fiscalizados – SUNAT, para producción uso y venta y transporte de oxido de calcio |                                      |                                   | Fecha de Revisión<br>Marzo del 2023           |  |      |                    |
| Nombre Químico:<br>Oxido de Calcio  |                                      |                                   | Nombre comercial o Sinónimo:<br>Cal, Cal viva |  |      |                    |
| Formula Química:<br>CaO   |                                      | Peso Molecular:<br>56.06<br>g/mol |   | Familia Química<br>Oxidos de Tierras Alcalinas |      |                    |
| COMPOSICION Y LIMITES DE EXPOSICION   |                                      |                                   |   |  |      |                    |
| Componentes peligrosos  | Concentración aproximada (% en peso) | N° CAS                            | Límites de Exposición en mg/m <sup>3</sup> )  |  |      |                    |
|   |                                      |                                   | OSHA  | ACGIH  | MSHA | Carcinogeno status |
| Oxido de Calcio   | >80 %                                | 1305-79-8                         | 5 (R)<br>10 (T)                               |  |      |                    |
| Oxido de Magnesio   | < 4 %                                | 1309-49-4                         | 10  |  |      |                    |
| Carbonato de Calcio   | < 3 %                                | 1317-65-3                         | 5(R)<br>15(T)                                 |  |      |                    |
| Dioxido de Silice (1)   | < 1 %                                | 14809-60-9                        |   |  |      |                    |

**Puntos de monitoreo de agua superficial en el sistema de aguas del río Ragra como parte de las acciones de seguimiento de la DEAM**

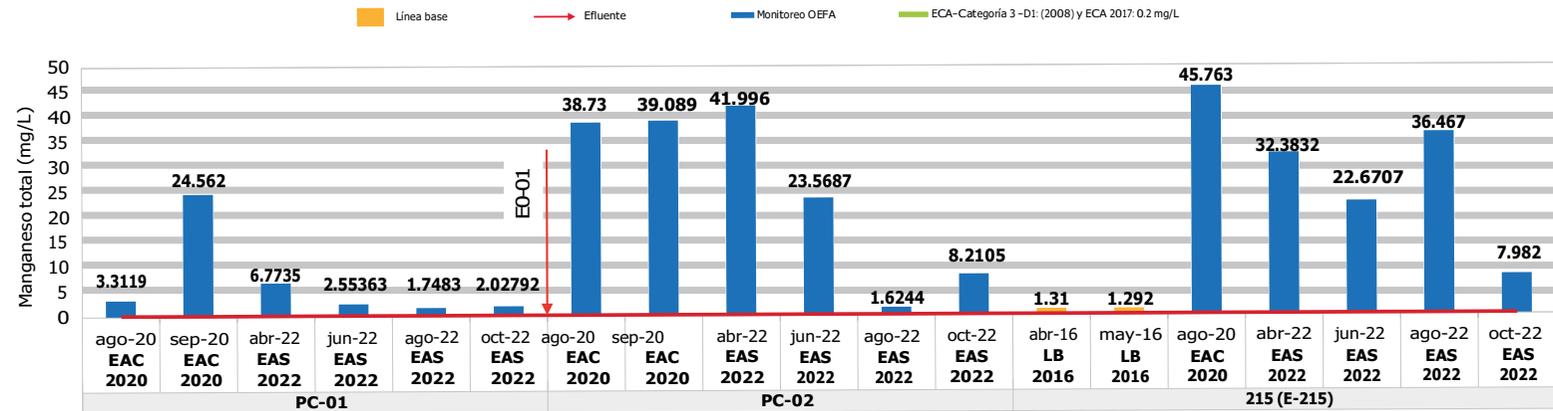
| Punto de monitoreo | Coordenadas UTM WGS-84 / Zona 18 S |           |                    | Descripción  |
|--------------------|------------------------------------|-----------|--------------------|--|
|                    | Este (m)                           | Norte (m) | Altitud (m s.n.m.) |  |
| E-02               | 361 543                            | 8 819 659 | 4 312              | Ubicado en el canal que recoge las aguas de la población y efluentes industriales de Paragsha  |
| RRA-01             | 361 543                            | 8 819 268 | 4 298              | Ubicado en el canal antes de llegar a la planta de neutralización  |
| RRag-03            | 361 028                            | 8 818 970 | 4 286              | Ubicado en el canal que se encuentra a 550 metros aguas abajo de RRA-01 y a 600 metros al sureste de la planta San Expedito              |
| E-2A               | 360 440                            | 8 818 215 | 4 286              | Ubicado en el canal que se encuentra a 200 metros de la planta de neutralización   |
| PC-01              | 359 022                            | 8 816 961 | 4 254              | Ubicado en el río Ragra, a aproximadamente 100 metros aguas arriba del punto de vertimiento EO-01, antes del depósito de relaves Ocroyoc |
| PC-02              | 358 804                            | 8 816 968 | 4 242              | Ubicado en el río Ragra, a aproximadamente 100 metros aguas abajo del punto de vertimiento EO-01, antes del depósito de relaves Ocroyoc  |
| 215<br>(E-215)     | 357 375                            | 8 816 528 | 4 216              | Ubicado cerca al puente de Yurajhuanca, después del depósito de relaves Ocroyoc, y antes de la unión con el río San Juan                 |

Fuente: Libro: Cerro de Pasco: ruta para la recuperación del río Ragra. OEFA

**Comportamiento de los resultados del parámetro manganeso de las acciones de seguimiento en 2022, línea base del EIA y evaluación de causalidad del 2020 comparados con los ECA 2008 y 2017**



**Río Ragra**



Fuente: Libro: Cerro de Pasco: ruta para la recuperación del río Ragra. OEFA.



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Laboratorio de Análisis Químico

Ciudad Universitaria San Juan Pampa



| Solicitante            |      |                        | Anthony Brayam     | Procedencia      | Pasco |
|------------------------|------|------------------------|--------------------|------------------|-------|
| Código de la Muestra   |      |                        | Martínez Cajamarca |                  |       |
| Código del laboratorio | Tipo | Código del solicitante | Manganeso (mg/L)   | Manganeso (mg/L) |       |
| M 0014                 | Agua | Muestra N° 1 y 2       | 271.37             | 0.202            |       |
| M 0015                 | Agua | Muestra N° 3 y 4       | 141.06             | 0.040            |       |
| M 0016                 | Agua | Muestra N° 5 y 6       | 135.68             | 0.081            |       |
| M 0017                 | Agua | Muestra N° 7 y 8       | 22.53              | 0.175            |       |
| M 0018                 | Agua | Muestra N° 9 y 10      | 16.54              | 0.067            |       |
| M 0019                 | Agua | Muestra N° 11 y 12     | 18.80              | 0.013            |       |

Cerro de Pasco, 31 de setiembre del 2022



Ing. Julio Antonio Asto Liñán  
INGENIERO QUIMICO

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**TÍTULO: remoción de manganeso empleando el método de reducción-alkalinización en pruebas a nivel de laboratorio en aguas contaminadas por las actividades mineras de la región Pasco**

| PROBLEMA  | OBJETIVOS   | HIPÓTESIS  | VARIABLES  | DIMENSIONES   | INDICADORES  | TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN                                  |
|---|---|--|--|---|--|--|
| <p><b>GENERAL</b><br/>: ¿En qué medida se reducirá el manganeso mediante el método de reducción-alkalinización en pruebas a nivel de laboratorio en la región Pasco?</p> <p><b>ESPECÍFICO</b><br/>O ¿Cuál será el pH apropiado para la reducción de manganeso en el agua contaminada de mina? ¿Cuál será el impacto de la prueba sobre la concentración de manganeso en las aguas tratadas?</p> | <p><b>GENERAL:</b><br/>Evaluar en qué medida se reducirá el manganeso mediante el método de reducción-alkalinización en pruebas a nivel de laboratorio en la región Pasco</p> <p><b>ESPECÍFICOS:</b><br/>- Determinar el pH apropiado para la reducción de manganeso en el agua de mina.<br/>- Determinar el impacto de la prueba sobre la concentración de manganeso en las aguas tratadas</p> | <p><b>GENERAL:</b><br/>Evaluando los resultados de la dosificación de lechada de cal se logrará reducir el manganeso en el agua de mina en la región Pasco</p> <p><b>ESPECÍFICOS:</b><br/>- Si logramos determinar el pH apropiado podremos reducir el manganeso en el agua de mina.<br/>- Si determinamos el impacto de la prueba lograremos reducir la concentración de manganeso en el agua tratada</p> | <p><b>INDEPENDIENTE:</b><br/>Agua Contaminada</p> <p><b>DEPENDIENTE:</b><br/>Reducción de manganeso.</p> | <p>pH</p> <p>Composición química (antes, durante y después del tratamiento)</p> | <p>pH 8.50<br/>pH 9.50<br/>pH 10.50</p> <p>Manganeso (Mn)<br/>pH</p> | <p><b>TIPO:</b> Aplicada</p> <p><b>NIVEL:</b> Experimental</p> |

-76° 00'

-75° 00'

-09° 00'

-09° 00'

-10° 00'

-10° 00'

0°

0°

-11° 00'

-11° 00'

-12° 00'

-12° 00'

| CODIGO | NOMBRE DE MINA                |
|--------|-------------------------------|
| 400    | DON PACO                      |
| 401    | CUATRO AMIGOS                 |
| 402    | PLANTA SANTA RITA Y LUCERO    |
| 403    | DESMONTES JUNTO A DEP. CARBON |
| 404    | DEPOSITO DE CARBON            |
| 406    | ISLAY                         |
| 407    | FUNDICION DE SAN CARLOS       |
| 408    | AZULMINA                      |
| 409    | SALPO                         |
| 410    | ESPAÑA                        |



**LEYENDA**

- Límite Departamental
- Límite Provincial

Ríos Principales  
Lagunas Principales

Minas Abandonadas

123 Código de M.Aband.

**DANIEL ALCIDES CARRION**

**PASCO**

**OXAPAMPA**

400  
402  
403  
404  
406  
407  
408  
409  
410

**DREM    SIST. INF. AMBIENTAL**

ESCALA

SISTEMA DE INFORMACION AMBIENTAL

-76° 00'

-75° 00'



**Ilustración 7. Área del estudio del Proyecto**



**Ilustración 18. Relavera de la Empresa Cero SAC**



**Ilustración 8. Intercepción de las aguas del río Ragra y las aguas de la relavera Quiulacocha**



**Ilustración 20. Rio Ragra cerca al poblado de Sacrafamilia y los vertimientos de las aguas de la empresa Aurex SA**



**Ilustración 9: Realizando toma de muestra de agua del rio Ragra**



**Ilustración 10: Mina Don Paco, explotación de calizas para la producción de cal**



**Ilustración 11: Planta Santa Rita y Lucero (Simón Bolívar) condición actual inactivo**