

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
METALURGICA**



**TESIS**

**Optimización del consumo del floculante para el  
tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina  
Unidad Minera Orcopampa – Buenaventura - Arequipa,  
2019**

Para optar el título profesional de:

**Ingeniero Metalurgista**

AUTOR: Bach. Roy Alexander TUCTO AMBROSIO

ASESOR: Mg. Manuel Antonio HUAMAN DE LA CRUZ

Cerro de Pasco – Perú - 2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÒN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
METALURGICA**



**TESIS**

**Optimización del consumo del floculante para el  
tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina  
Unidad Minera Orcopampa – Buenaventura - Arequipa,  
2019**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado

---

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA  
PRESIDENTE

---

Mg. Jonás Ananías RAMOS MARTINEZ  
MIEMBRO

---

M.Sc. Ramiro SIUCE BONIFACIO  
MIEMBRO

### **DEDICATORIA**

Este presente trabajo está dedicado a mis padres por el deseo de superación y el apoyo incondicional durante mi estadía universitaria.

## **RECONOCIMIENTO**

A Dios, por fortalecer mi corazón e iluminar mi camino.

A mis padres Narcisa y Abel por haberme apoyado incondicionalmente durante toda mi trayectoria en la vida estudiantil.

A todos los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN por brindarme una formación integral y de calidad.

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis se realizó con los objetivos de determinar la optimización del consumo del floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina, evaluar y determinar la concentración del floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso y determinar el valor del pH para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina a partir del efluente Nazareno de la Unidad minera Orcopampa Compañía de mina buenaventura.

Para cumplir con los objetivos del presente estudio se empleó la investigación de tipo analítico y explicativo, el diseño utilizado para evaluar las distintas concentraciones de floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina es el diseño experimental.

Las pruebas metalúrgicas para el tratamiento del efluente Nazareno en este estudio de investigación, realizamos pruebas exploratorias a partir de los buenos resultados obtenidos en las pruebas realizadas con anterioridad por HEAP LEACHING CONSULTING INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. Basándonos en la lectura de la turbidez (NTU's), haciendo una medición y comportamiento de pH junto al potencial de oxidación de reducción.

Las pruebas tuvieron lugar en las instalaciones de HEAP LEACHING CONSULTING INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. donde empezamos con la homogenización y toma de muestras representativas del efluente Nazareno que se realizaron en una serie de pruebas en

diferentes etapas, empezando por neutralización para precipitar Al donde el pH es llevado a (6,5 – 7), donde no se usó coagulante por la presencia de sólidos en suspensión (SST), en una cantidad considerable y nuevamente alcalinizar a un pH mayor (10,5 - 11) para dosificar coagulante teniendo un tiempo de acondicionamiento y aplicar el floculante a diferentes dosificaciones de 0,3 ppm, 0,5 ppm y 0,8 ppm.

Los resultados para disminuir la turbidez de las aguas ácidas de la unidad minera Orcopampa se ha utilizado la lechada cal al 10 % a una revolución de 100 rpm, coagulante el cloruro férrico a 0,05 ml/L a una revolución de 100 rpm y floculante el Magnafloc 1011 a una dosificación de 0,5 ppm a una revolución de 50 rpm para no romper los flóculos. La turbidez de la muestra inicial fue 250 NTU y la turbidez final para 5 minutos es 0,45 NTU.

El proceso de tratamiento de aguas de mina , cada vez son de gran interés, importancia y preocupación para la sociedad de cómo solucionar para poder reutilizar el recurso hídrico que sufre alteraciones a consecuencia de las actividades antropogénicas y naturales desde fuentes puntuales y no puntuales; en el cual, el parámetro físico-químico de sólidos totales en suspensión (SST) y turbiedad (NTU's) son primordial en su tratamiento, ya que en estos componentes se encuentra la materia orgánica e inorgánica; por otro lado, el consumo de agua es mayor cada día y de gran envergadura frente a la necesidad de su consumo del hombre y de otros seres vivos. En tanto, el tratamiento de aguas residuales es de prioridad y de vital importancia para la sociedad,

disminuir la turbidez y sedimentar las partículas en suspensión de las aguas ácidas.

Este trabajo beneficiara a los estudiantes, profesionales y personas interesadas en el tratamiento de aguas.

Palabra clave: Optimización del consumo del floculante, tratamiento del Aluminio y Manganeso

## **SUMMARY**

The present thesis work was carried out with the objectives of determining the optimization of the flocculant consumption for the treatment of Aluminum and Manganese of the mine water, evaluate and determine the flocculant concentration for the treatment of Aluminum and Manganese and determine the pH value for the treatment of Aluminum and Manganese from mine water from the Nazareno effluent of the Orcopampa mining unit Compañía de mine buenaventura.

To fulfill the objectives of this study, analytical and explanatory research was used. The design used to evaluate the different flocculant concentrations for the treatment of Aluminum and Manganese from mine water is the experimental design.

The metallurgical tests for the Nazarene effluent treatment in this research study, we perform exploratory tests based on the good results obtained in the tests carried out previously by HEAP LEACHING CONSULTING ENGINEERING AND CONSTRUCTION S.A.C. Based on the turbidity reading (NTU's), making a measurement and pH behavior together with the oxidation potential of reduction.

The tests took place at the HEAP facilities LEACHING CONSULTING ENGINEERING AND CONSTRUCTION S.A.C. where we started with the homogenization and taking representative samples of the Nazarene

effluent that were carried out in a series of tests in different stages, starting with neutralization to precipitate Al where the pH is brought to (6.5 - 7), where no coagulant was used for the presence of solids in suspension (SST), in a considerable amount and again alkalize to a higher pH (10.5 - 11) to dose coagulant having a conditioning time and apply the flocculant at different dosages of 0.3 ppm, 0.5 ppm and 0.8 ppm.

The results to decrease the turbidity of the acidic waters of the Orcopampa mining unit have been used the lime slurry at 10% at a revolution of 100 rpm, coagulating the ferric chloride at 0.05 ml / L at a revolution of 100 rpm and flocculant the Magnafloc 1011 at a dosage of 0.5 ppm at a revolution of 50 rpm so as not to break the floccules. The turbidity of the initial sample was 250 NTU and the final turbidity for 5 minutes is 0.45 NTU.

The process of treatment of mine water, each time are of great interest, importance and concern for society how to solve to be able to reuse the water resource that suffers alterations as a result of the anthropogenic and natural activities from punctual and non-point sources; in which, the physical-chemical parameter of total suspended solids (TSS) and turbidity (NTU's) are paramount in their treatment, since organic and inorganic matter are found in these components; On the other hand, the consumption of water is greater every day and of great importance against the need of its consumption by man and other living beings. Meanwhile,

wastewater treatment is a priority and vital for society, reduce turbidity and sediment particles suspended in acidic waters.

This work will benefit students, professionals and people interested in water treatment.

Keyword: optimization of flocculant consumption, treatment of aluminum and manganese

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo general determinar la optimización del consumo del floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina del efluente nazareno de la unidad minera Orcopampa Compañía de mina Buenaventura.

Las siguientes pruebas metalúrgicas realiza el análisis y evaluación del desempeño operativo para la aplicación del floculante Magnafloc 1011 a diferentes concentraciones mediante la aplicación después de la etapa de neutralización y coagulación para precipitación de metales de alto contenido específicamente de Al, Mn y Metales pesados para posteriormente descargar el agua según ECA categoría 3 ( riego de vegetales y bebidas de animales).(Ver anexo 16) del efluente Nazareno de la unidad minera ORCOPAMPA CIA MINERA BUENAVENTURA.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	III
RECONOCIMIENTO .....	IV
RESUMEN .....	V
SUMMARY .....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	XI

## ÍNDICE

CAPÍTULO I .....	15
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	15
1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2.1. PROBLEMA PRINCIPAL.....	17
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	17
1.3. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS.....	17
1.3.1. OBJETIVOS GENERALES.....	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	17
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
CAPÍTULO II.....	20
MARCO TEÓRICO .....	20
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO .....	20
2.2. BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICAS.....	25
2.2.1. AGUAS ÁCIDAS.....	25
2.2.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS ÁCIDAS DE MINA .....	26
2.2.3. REACCIONES QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS CON LA GENERACIÓN DE AGUA ÁCIDA. ....	28
2.2.4. ETAPAS DEL TRATAMIENTO FÍSICO – QUÍMICO.....	32
a. Coagulación: .....	32
b. Flocculación.....	35
c. Sedimentación. ....	37
d. Sólidos totales en suspensión (SST).....	39
e. Sedimentación según el tipo de partículas. ....	40
f. Cal viva (CaO).....	41
g. Lechada de cal (Ca (OH) <sub>2</sub> ).....	42
h. Cal como coagulante. ....	43
i. Aplicaciones de la cal.....	43
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	44
2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	46
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	46
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICO.....	46
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES .....	46
2.5.1. VARIABLES INDEPENDIENTES .....	46

a.	Factores de la variable independiente .....	46
2.5.2.	VARIABLES DEPENDIENTES .....	46
CAPITULO III.....		47
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN .....		47
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	47
3.2.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	47
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN .....	48
3.3.1.	POBLACIÓN .....	48
3.3.2.	MUESTRA.....	48
3.4.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN .....	48
3.5.	UBICACIÓN POLÍTICA .....	49
3.6.	MATERIALES EQUIPOS Y REACTIVOS EXPERIMENTALES .....	49
3.6.1.	MATERIALES .....	49
3.6.2.	EQUIPOS.....	50
3.6.3.	REACTIVOS .....	50
3.7.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	50
3.8.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	51
3.9.	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....	51
3.10.	PROCEDIMIENTO DE EXPERIMENTO .....	52
3.10.1.	PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRA.....	52
3.10.2.	DESARROLLO EXPERIMENTAL POR COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN.....	52
3.11.	PLAN DE TRATAMIENTO DE LOS DATOS .....	53
3.11.1.	MÉTODO DE ANÁLISIS .....	53
3.12.	DISEÑO DE TRATAMIENTO PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS .....	54
CAPÍTULO IV .....		55
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		55
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.....	55
4.2.	PRESENTACIÓN ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	57
4.2.1.	PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA ÁCIDA .....	57
4.2.2.	PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA ÁCIDA.....	57
4.3.	CONSIDERACIONES PRELIMINARES PARA PRUEBA EXPERIMENTAL .....	59
4.3.1.	DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD DE AGITACIÓN PARA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN .....	59
4.3.2.	DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DEL FLOCULANTE MEDIANTE LA TURBIDEZ .....	59
4.3.3.	REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ CON LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DEL FLOCULANTE .....	60
4.3.4.	PRUEBA CONTINUA PARA LA REMOCIÓN DE Al y Mn .....	62
a.	Etapa de Neutralización.....	62
b.	Etapa de Clarificación .....	63
c.	Etapa de Neutralización – Precipitación de Manganeso.....	64
d.	Etapa de Coagulación.....	65
e.	Etapa de Clarificación .....	65
4.4.	PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	67

4.5.	EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.....	69
4.6.	DISCUSIÓN DEL RESULTADO.....	69
	CONCLUSIONES.....	71
	RECOMENDACIONES.....	73
	BIBLIOGRAFÍA.....	74
	ANEXOS	

# **CAPÍTULO I**

## **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA**

Las aguas ácidas de minería se originan mediante la oxidación química y biológica. Este fenómeno se produce cuando las rocas conteniendo dichos sulfuros entran en contacto con aire o el agua. A esto hay que añadir que el agua ácida procedente de rocas y minerales incluye también numerosos metales en disolución, que aportan una importante toxicidad al efluente.

Así pues, los drenajes ácidos que se producen en las minas subterráneas y a cielo abierto son una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas que se encuentran en su entorno.

Para evitar este daño medio ambiental se deben tomar medidas, tanto preventivas (o pasivas) como activas mediante la implantación de métodos de tratamiento de estos efluentes ácidos.

Por lo que se refiere a las tecnologías de tratamiento cabe aclarar que en numerosas ocasiones no es suficiente con un único procedimiento, sino que se hace necesaria la combinación de varios. Todo dependerá de cada caso y sus múltiples variables.

A investigaciones hechas por parte de la empresa HLC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. al Efluente Nazareno de la unidad minera Orcopampa Compañía de Mina Buenaventura, obteniendo resultados no favorables y de elevado costo.

Se observa en las pruebas exploratorias la formación de partículas en la superficie de solución sobre nadante debido al consumo del floculante para lo cual se determinó realizar pruebas subsiguientes a variadas concentraciones y así llegar a un nivel óptimo.

Pretendemos disminuir los costos optimizando el consumo de floculante ya que a gran volumen ocasionaría una elevada inversión a la empresa, por ello deseamos variar las concentraciones a valores menores de 1 ppm.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA PRINCIPAL**

¿De qué manera se realiza la optimización del consumo del floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

¿Cómo el consumo del floculante influye para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina?

¿Cómo el pH influye para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina?

## **1.3. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVOS GENERALES**

Determinar la optimización del consumo del floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Evaluar y determinar la concentración del floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina.

Determinar el valor del pH para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación se está evaluando con el fin de optimizar el consumo del floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina.

El alto consumo de floculante en el tratamiento de agua ácida de mina a gran volumen genera costos elevados y hace que el efluente en tratamiento no tenga una buena precipitación de metales pesados contenidos en ella.

El proceso de tratamiento de aguas de mina , cada vez son de gran interés, importancia y preocupación para la sociedad de cómo solucionar para poder reutilizar el recurso hídrico que sufre alteraciones a consecuencia de las actividades antropogénicas y naturales desde fuentes puntuales y no puntuales; en el cual, el parámetro físico-químico de sólidos totales en suspensión (SST) y turbiedad (NTU's) son primordial en su tratamiento, ya que en estos componentes se encuentra la materia orgánica e inorgánica; por otro lado, el consumo de agua es mayor cada día y de gran envergadura frente a la necesidad de su consumo del hombre y de otros seres vivos. En tanto, el tratamiento de aguas residuales es de prioridad y de vital importancia para la sociedad disminuir la turbidez y sedimentar las partículas en suspensión de las aguas ácidas.

Este trabajo beneficiara a los estudiantes, profesionales y personas interesadas en el tratamiento de aguas.

#### **1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

El estudio es importante porque nos permite reducir la remoción de los metales pesados contenidos en el agua de mina para el beneficio de los seres vivos. Para esto se va realizar pruebas de tratamientos de aguas buscando un esquema donde la remoción de los metales pesados esté por debajo de los ECAS (ver anexo 16).

La trascendencia del estudio afecta directamente a la unidad minera Orcopampa compañía de mina Buenaventura.

#### **1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

El trabajo realizado en la presente investigación no está exento de ciertas limitaciones.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO**

2.1.1. Morales, L. (2010), en su tesis Tratamiento de efluentes ácidos por NDS (Neutralización Coagulante Dinámica), para la optimización del proceso, presentado a la coordinación de investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica, UNA - Puno. Concluye lo siguiente:

“El consumo de caliza es de 10 g/l, porque permite formar hidróxidos metálicos y aumentar la velocidad de sedimentación de los precipitados, hecho que no ocurre en el proceso de LDS (Lodos de baja Densidad) en donde el reactivo es solo cal” También concluye que, “El tiempo de agitación es una variable muy importante porque mide el tiempo de residencia necesario, para que la caliza pueda tener mayor contacto con los metales disueltos, y lograr una

buena precipitación y coagulación”. El tiempo de agitación es de 15 minutos (p. 129).

2.1.2. Tejada, R. (2017), en su tesis tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la unidad operativa minera Santiago B.

Se ejecutaron pruebas de sedimentación en probetas de 100 ml y en vasos precipitados de 1 litro, así mismo las pruebas de turbidez y sedimentación de SST; las pruebas experimentales se realizaron por cuatro fechas, donde el resultado de la turbidez inicial fue 81 900 NTU y SST fue 67 400 mg/L, y el resultado final para una unidad de tiempo de 60 minutos la turbidez es 19,39 NTU y SST final es 18,25 mg/L, donde la dosis optima de cal al 5 % es 0,3 g de cal por litro de agua residual, con una remoción de 99,976 % para turbidez y 99,973 % de remoción para SST. (p.60)

El porcentaje de remoción de turbiedad y sólidos totales en suspensión de las aguas residuales, se ha calculado a partir las pruebas experimentales realizadas para obtener la dosis óptima, en donde la dosis es 6 ml/L que equivale a 0,3 g/l; obteniéndose las concentraciones de remoción lo siguiente: Remoción de turbidez es 99,976 % y remoción de SST es 99,973 %.

Para poder determinar la dosis óptima de CaO, se ha realizado pruebas de jarras (Jar Test), donde la cal fue utilizada en forma la lechada de cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) al 5 % y como dosis óptima se obtuvo 6 ml/L de lechada de cal que equivale 0,30 g/l de cal, según los resultados de turbidez y SST. Además la figura 4.2 demuestra que el  $R^2 = 0,968$ , lo cual indica que error es de 0,032 que a 3,2 % de error y la figura 4.3 demuestra que el  $R^2 = 0,9776$ ; lo cual indica que error es de 0,0224 que a 2,24 % de error de SST. (p. 80)

2.1.3. García, C. & Tongombol, D. En su publicación Los relaves mineros, su efecto en el ambiente y la salud, presentado en EAP Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión. Concluyen en dicha investigación, llegamos a obtener ideas más precisa y clara de lo que los relaves mineros son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente son una mezcla de tierra, minerales, agua y rocas, y que vienen a ser uno de los mayores contaminantes ambientales (p. 1).

2.1.4. Requena, M. (2008) En su tesis sistema de tratamiento integral de aguas residuales industriales en UEA Animón de empresa administradora Chungar S.A.C.

El tratamiento en conjunto de las aguas residuales industriales permitirá obtener un efluente de mejor calidad que los actuales y que pueda ser vertido al cuerpo receptor, con lo que se logrará la disminución de presencia de plomo, zinc y otros metales pesados en estos efluentes, así como en los cuerpos receptores.

El sistema de tratamiento integral de aguas residuales industriales comprende la instalación de un sedimentador de cono profundo (CDT) para el tratamiento de las aguas de mina (140 l/s- zona esperanza y 35 l/s – zona Montenegro) y pulpa de relaves de planta concentradora (70/s) en la parte superior de la planta de beneficio Animón.

En el diseño de la planta de tratamiento integral de Aguas Residuales Industriales, se ha considerado una posible ampliación de la planta concentradora de 40 %, equivalente a 3500 TMD.

Es posible y necesario que este proyecto se complemente con otro que contemple el relleno en pasta, lo que le dará un valor agregado a este sistema de tratamiento integral de aguas residuales industriales.

El equipo seleccionado es un sedimentador de 17 m de diámetro y 21 m de alto con una planta de dosificación de floculante, bombas de recirculación y descarga. (p 63).

2.1.5. M. ESPIGARES GARCIA y J.A. PEREZ LOPEZ en su publicación Precipitación química Ablandamiento del agua. El ablandamiento con cal es utilizado habitualmente, debido a que las aguas destinadas al consumo humano suelen contener un nivel de bicarbonatos suficiente. La reacción de la cal con la dureza es muy lenta en ausencia de gérmenes de cristalización. Por el contrario, en contacto con una masa suficiente de cristales de carbonato cálcico ya formados, la reacción transcurre en varios minutos. Como la precipitación se efectúa sobre los cristales, éstos tienden a aumentar su volumen, con lo que aumenta la velocidad de sedimentación. Esto ocurre si la superficie de los cristales de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  se encuentra suficientemente limpia. Por ello, la presencia de sustancias orgánicas coloidales puede impedir la cristalización, siendo una de las razones por las que se realiza simultáneamente una coagulación-floculación. Si el carbonato cálcico se encuentra solo, tiene tendencia a formar agrupaciones de cristales que sedimentan a gran velocidad, mientras que el hidróxido de magnesio, si se encuentra solo, forma flóculos muy ligeros. Si la proporción de hidróxido de magnesio en relación al carbonato cálcico es pequeña, se ocluye dentro del precipitado cálcico, pero si su proporción es grande, no pueden obtenerse precipitados densos, siendo mucho menor la velocidad. (p.2).

## **2.2. BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICAS**

### **2.2.1. AGUAS ÁCIDAS**

El 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a gasto doméstico, según se constata en el primer informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, Agua para todos, agua para la vida (marzo 2003). En 2025, el consumo de agua destinada a uso industrial alcanzará los 1.170 Km<sup>3</sup> 1 año, cifra que en 1995 se situaba en 752 Km<sup>3</sup> 1 año. (Hamilton, Q, 1999).

Las aguas ácidas son aquellas soluciones sulfatadas, con alto contenido de metales y con un pH menor a 7. La relación dióxido de carbono/ion bicarbonato afecta directamente el pH del agua. Cuanta más alta sea esta relación, tanta más alta será la acidez natural del agua.

Cuando existe riesgo de generación de aguas ácidas, con el fin de eliminar o, al menos minimizar su aparición, deberían tenerse en cuenta criterios de desafío y gestión del riesgo. La prevención de la contaminación derivada de las actividades mineras se relaciona, estrechamente, con los métodos de explotación, el aporte de aguas (superficiales y

subterráneas) y el tratamiento de las mismas. Con respecto a las formas de actuar, cabe distinguir aquellas acciones que se orientan hacia el objetivo de reducir la formación de contaminantes, y aquellas otras que implican el tratamiento de las aguas contaminadas.

Los métodos preventivos se basan en la eliminación de alguno de los elementos esenciales en la generación de aguas ácidas (sulfuro, oxígeno, humedad o bacterias catalizadoras). La elección entre uno u otro método, depende de las condiciones.

Las aguas ácidas se pueden formar tanto en el interior como en la superficie, por oxidación de la pirita ( $\text{FeS}_2$  u otros sulfuros) en presencia de humedad, expuesta a las condiciones atmosféricas, pudiendo acceder al sistema hidráulico subterráneo, contaminando acuíferos, o surgir como efluentes que vierten en cursos de agua superficial.

### **2.2.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS ÁCIDAS DE MINA**

La acidez" y la "alcalinidad" de un drenaje de mina son parámetros básicos en la selección del tipo de tratamiento pasivo representan la capacidad de esas aguas para neutralizar una base o un ácido.

Que una solución presente acidez o alcalinidad está en función de que predomine en ella su acidez total o su alcalinidad total, hablándose entonces con más precisión de soluciones con acidez o alcalinidad neta.

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

La acidez total teórica puede ser calculada si se conoce el pH y la concentración de cada uno de los cationes que generan acidez. La acidez total sería la suma de la acidez atribuible a los iones  $H^+$  y la potencial de los cationes metálicos ( $Me^{+n}$ ).

Las aguas ácidas, está controlada por los siguientes factores:

- Disponibilidad de piritita
- Presencia de oxígeno.
- Existencia de humedad en la atmósfera.
- Disponibilidad de agua para transportar los productos de oxidación.
- Características de la mina o de los depósitos estériles.

La velocidad de reacción depende de numerosas variables, como:

- pH y temperatura, del agua y ambiente.
- Tipo de mineral sulfuroso y superficie expuesta.
- Concentración de oxígeno.
- Agentes catalíticos y actividad química del hierro férrico.
- Energía de actuación química requerida para que se inicie la reacción.
- Presencia de Thiobacillus ferrooxidans u otras bacterias, que actúan como catalizadoras.

### **2.2.3. REACCIONES QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS CON LA GENERACIÓN DE AGUA ÁCIDA.**

La generación ácida, así como su consumo (por neutralización), es el resultado de un gran número de reacciones químicas interrelacionadas.

Los elementos fundamentales que intervienen la generación ácida son:

- Minerales sulfurosos.
- Bacterias y temperatura.
- Agua o humedad de la atmósfera.
- Un oxidante.

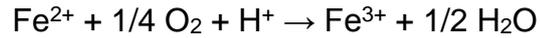
Particularmente oxígeno proveniente del aire o de procedencia química. La total exclusión de la humedad o del oxidante detendrá la generación ácida. En la mayoría de los casos, la actividad bacteriana juega un papel importante en la aceleración de la velocidad de generación ácida, la inhibición de éstas disminuirá la velocidad de formación de efluentes ácidos.

Nordstrom y Alpers 1998, Skousen et al. 1998 y la EPA (2000), explican las reacciones que se producen en la generación ácida a partir de la oxidación de la pirita ( $\text{FeS}_2$ ), por ser uno de los sulfuros minerales más comunes que acompañan a las menas de interés económico. Estas reacciones son:

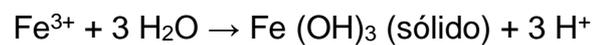


En ésta primera reacción debido a la oxidación del sulfuro mineral se forma hierro (ion ferroso), sulfato e hidrógeno.

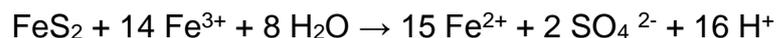
Los compuestos disueltos  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{H}^+$  representan un incremento en el total de sólidos disueltos y de la acidez del agua, a menos que sea neutralizado el incremento de la acidez estará asociado con una disminución del pH. Si el ambiente circundante es suficientemente oxidante, mucho de los iones ferrosos se oxidarán a iones férricos.



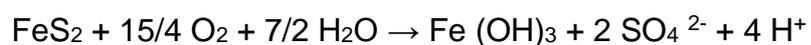
A valores de pH entre 3,5 a 4,5 el ion férrico es catalizado por la bacteria Metallogenium y a pH por debajo de 3,5 la reacción es catalizada por la bacteria Thiobacillus ferrooxidans. Por lo general, a pH entre 2,3 a 3,5 el ion férrico por hidrólisis precipita como hidróxido  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (sólidos de color amarillo, naranja o rojo), lo que provoca un descenso del pH.



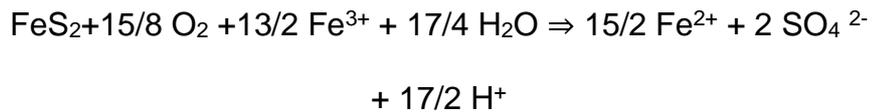
Algunos cationes férricos ( $\text{Fe}^{3+}$ ) que no precipitan en la solución, pueden seguir oxidando adicionalmente a la pirita (catálisis) y formar nuevamente iones ferrosos, sulfato e hidrógeno.



Basados en estas reacciones básicas simplificadas, la generación ácida que produce el hierro de la pirita el cual eventualmente precipita como  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  puede ser representada por la siguiente reacción:

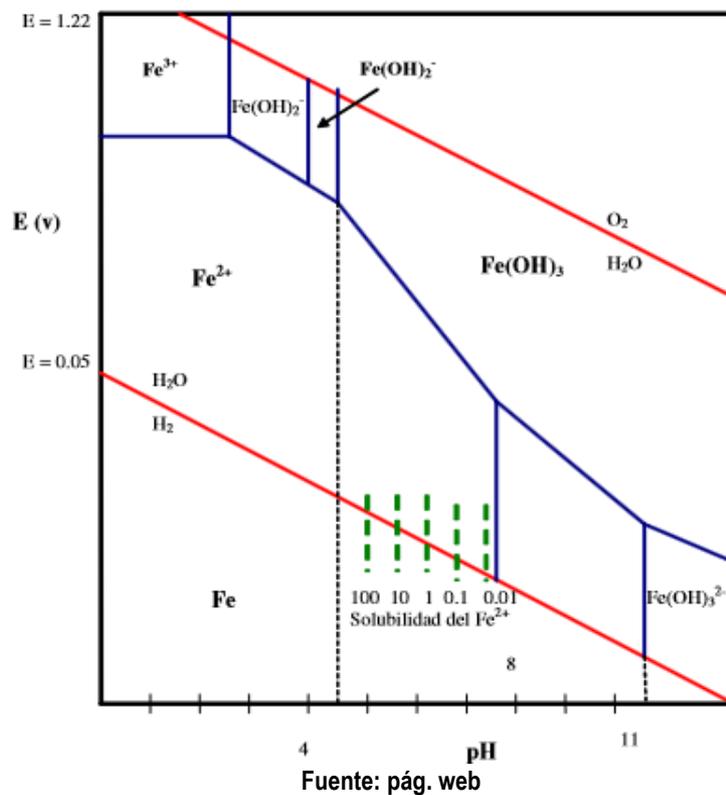


Por lo tanto, la reacción final para estabilizar el ion férrico formado a partir de la oxidación de la pirita, sería:



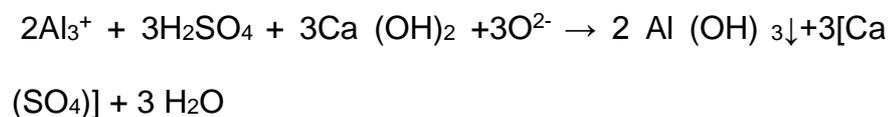
Otros minerales sulfurosos, tales como la calcosina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) que tiene diferente relación de oxidación, reacciona de forma diferente a la pirita, marcasita y pirrotina (sulfuros con cristalización framboidal) que son fáciles de oxidarse, por lo tanto, tienen diferentes caminos de reacción estequiometría y velocidades de reacción.

Fig. N°2.1 Diagrama de pourbaix para el Fe



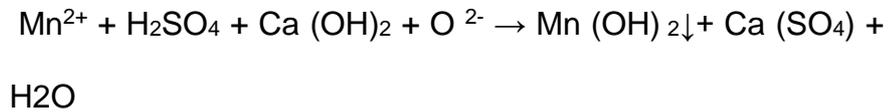
### Química de precipitación del aluminio

La precipitación del aluminio se da en el rango de pH (7-8).



## Química de precipitación del manganeso

La precipitación completa del manganeso se da a  $\text{pH} > 10$



### 2.2.4. ETAPAS DEL TRATAMIENTO FÍSICO – QUÍMICO

El tratamiento físico - químico del agua de mina tiene como finalidad, mediante la adición de ciertos productos químicos, la alteración del estado físico de estas sustancias que permanecerían por tiempo indefinido de forma estable para convertirlas en partículas susceptibles de separación por sedimentación (Requena, 2008, p. 28).

#### a. Coagulación:

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un flóculo o precipitado.

La coagulación de partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante.

- Se puede considerar dos mecanismos básicos en este proceso: Neutralización de la carga del coloide.
- Inmersión en un precipitado o flóculo de barrido (Requena, 2008, p. 28).

### **Neutralización de la carga del coloide. -**

Su objetivo es obtener pH requerido. En este proceso el agua contaminada acificada es neutralizada con cal, el agua contaminada alcalinizada es neutralizada con ácido. Cuando se neutralizan un alcalino, se usa generalmente hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). El uso de piedra caliza (carbonato de calcio =  $\text{CaCO}_3$ ) es también ampliamente difundido, y algunas veces para efectuar la neutralización (Valdez & Palacios, 2009, p. 50).

### **Inmersión en un precipitado o flóculo de barrido. -**

Los coagulantes forman en el agua ciertos productos de baja solubilidad que precipitan. Las partículas coloidales sirven como núcleo de precipitación quedando inmersas dentro del precipitado. El factor que influye en el proceso de coagulación es el pH.

Es una medida de la concentración de protones en una solución (Weber, 1989). El pH es un factor crítico en el proceso de coagulación, siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los 25 iones metálicos del coagulante. Si el pH del agua no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de

coadyuvantes o ayudantes de la coagulación, entre los que se encuentran: cal viva, cal apagada, carbonato sódico, soda cáustica, ácidos minerales (Requena, 2008, p. 29).

### **Agitación rápida de la mezcla.**

Para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el flóculo o precipitado. Por lo tanto, al ser la neutralización de los coloides el principal objetivo que se pretende en el momento de la introducción del coagulante, es necesario que el reactivo empleado se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy corto (Requena, 2008, p. 30).

### **Tipo y cantidad de coagulante.**

Los coagulantes principalmente utilizados son las sales de aluminio y de hierro. Las reacciones de precipitación que tienen lugar con cada coagulante son las siguientes: cal ( $\text{CaO}$ ), sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$ ), sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ), sulfato férrico ( $\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3$ ), cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) (Requena, 2008, p. 30 - 32).

### **Cloruro férrico:**

El cloruro de hierro es un compuesto químico de fórmula ( $\text{FeCl}_3$ ) que en solución al 40%, se usa como coagulante para tratamiento de aguas y efluentes, se comercializa habitualmente a granel.

Cuando se disuelve en agua, el cloruro de hierro sufre hidrólisis y libera calor en una reacción exotérmica. De ello resulta una solución ácida y corrosiva de color marrón que se utiliza como coagulante para el tratamiento de aguas residuales, para la potabilización del agua, y en la industria electrónica para el grabado químico de plaquetas de circuito impreso.

### **b. Floculación.**

Comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma (Valencia, 1992).

La floculación trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin de aumentar su volumen y peso de forma que pueden sedimentar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta

forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas 26 coaguladas, aumentando, por tanto, la velocidad de sedimentación de los flóculos.

Existen, además, ciertos productos químicos llamados floculantes que ayudan en el proceso de floculación. Un floculante actúa reuniendo las partículas individuales en aglomerados, aumentando la calidad del flóculo (flóculo más pesado y voluminoso). Hay diversos factores que influyen en la floculación:

- Coagulación previa lo más perfecta posible.
- Agitación lenta y homogénea.

La floculación es estimulada por una agitación lenta de la mezcla puesto que así se favorece la unión entre los flóculos. Un mezclado demasiado intenso no interesa porque rompería los flóculos ya formados.

### **Temperatura del agua.**

La influencia principal de la temperatura en la floculación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación de flóculos. Generalmente, temperaturas bajas dificultan la clarificación del agua, por lo que se requieren periodos de floculación más largos o mayores dosis de floculante.

### **Característica del agua.**

Un agua que contiene poca turbiedad coloidal es, frecuentemente de floculación más difícil, ya que las partículas sólidas en suspensión actúan como núcleos para la formación inicial de flóculos.

### **Tipos de floculantes según su naturaleza.**

Los floculantes pueden ser: Minerales: por ejemplo, la sílice activada, se le ha considerado como el mejor floculante capaz de asociarse a las sales de aluminio.

Orgánicos: son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético (Requena, 2008, p. 32-34).

### **c. Sedimentación.**

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones más utilizadas en el tratamiento de aguas (Metcalf & Eddy, 1996). La sedimentación es la separación de sólidas en suspensión de un líquido, que se verifica por asentamiento gravitacional. Tales operaciones pueden dividirse en espesamiento y clarificación. Aunque se rigen por principios semejantes, estos procesos difieren en que el objetivo primario del

espesamiento es incrementar la concentración de sólidos totales en suspensión, mientras que la clarificación sirve para separar los sólidos de una corriente relativamente diluida (Terroba, 2010, p. 28).

### **Separación sólida – líquido**

Su objetivo es reducir el contenido de sólidos en suspensión (SS). Estos sólidos resultan de la formación de partículas finas de la manera en el proceso de voladura, trituración y molienda; también proceden de las reacciones químicas que ocurren durante el tratamiento, produciendo precipitados. La separación sólida – líquidos se consigue por tamización, por sedimentación directa, por floculación y sedimentación, por filtración y por flotación, que son los métodos más accesibles en labores mineras, en cuanto a costo se refiere (Valdez & Palacios, 2009, p. 49).

#### **Sedimentación directa. -**

La sedimentación directa es el procedimiento más importante y ampliamente adoptado de sólido – líquido en el que las partículas de SST, por sus propios pesos sedimentan aguas contaminadas. La velocidad de sedimentación de partículas sólidas contenidas en líquidos depende del tamaño, peso específico de la

partícula, viscosidad y densidad del líquido. Generalmente se usa a fórmula de Stokes, para calcular las velocidades de sedimentación de tales partículas (Valdez & Palacios, 2009, p. 49).

#### **Velocidad y tiempo de sedimentación. -**

Definimos como sedimentación al proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad. Las impurezas naturales pueden encontrarse en las aguas según tres estados de suspensión en función del diámetro, estos son: Suspensiones hasta diámetros de  $10^{-4}$  cm, coloides entre  $10^{-4}$  y  $10^{-6}$  cm, soluciones para diámetros aún menores de  $10^{-6}$  cm.

#### **d. Sólidos totales en suspensión (SST).**

Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a  $103 - 105$  °C hasta peso constante. Este método es aplicable a aguas potables,

superficiales, y salinas, aguas residuales domésticas e industriales y lluvia ácida (Marín, 2011, p. 19).

**e. Sedimentación según el tipo de partículas.**

**Sedimentación de partículas discretas. -**

Son aquellas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída. Se denomina sedimentación o sedimentación simple al proceso de depósito de partículas discretas. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en el pre sedimentador como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta. (Galvis, 2014, p. 39).

**Sedimentación de partículas floculantes.**

Son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos como coagulantes. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas sí cambian durante la caída. Se denomina sedimentación floculantes al proceso de

depósito de partículas floculantes. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación - floculación y la filtración rápida. (Galvis, 2014, p. 39).

#### **Sedimentación por caída libre e interferida.**

Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, estas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual, denominándose esta sedimentación depósito o caída interferida o sedimentación zonal. Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor consolidación, se produce una compresión o zona de compresión. Este tipo de sedimentación se presenta en los concentradores de lodos de las unidades de decantación con manto de lodos (Galvis, 2014, p. 39).

#### **f. Cal viva (CaO).**

La cal viva u óxido de calcio (CaO) es el producto resultante de la calcinación de la piedra caliza, compuesto principalmente de óxido de calcio y magnesio (CaMgO<sub>2</sub>). La cal hidratada es, por lo general, un polvo

seco mediante el tratamiento de cal viva con suficiente agua para satisfacer su afinidad química por el agua, en las condiciones de su hidratación. Comúnmente, la cal hidratada o apagada tiene un 75 a 95 % de material que pasa tamiz N° 200 y, en algunos usos especiales, se usa cal fina con un 99,5 % de material que pasa tamiz N° 235. Cuando se usa solamente cal como precipitante.

**g. Lechada de cal (Ca (OH)<sub>2</sub>).**

La preparación de la lechada de cal se realiza en el extintor, donde la cal virgen se quema y la hidratada se mezcla con el agua por medio de agitadores. La mezcla se diluye en tanques de alimentación y de dosificación, provistos de agitadores para mantener la cal permanentemente en suspensión. La suspensión dosificada de dicha manera se envía a la entrada (en el caso de ajuste del pH óptimo de floculación) o a la salida del tratamiento (en el caso de la corrección final del pH) o a ambos puntos de la planta de tratamiento de agua, mediante tuberías y con una inyección de agua auxiliar. La suspensión de lechada de cal se prepara en una concentración de 5 % (Organización Mundial de la Salud, 1998, p. 431).

#### **h. Cal como coagulante.**

La cal hidratada es un coagulante muy económico y da muy buenos resultados, trabajándolo a pH alcalinos entre 9 - 11. Algunas de las ventajas que se tienen con respecto a otros coagulantes de este tipo, es su capacidad de precipitar metales pesados (arsénico, cadmio, zinc, entre otros) que se encuentran en solución. El hidróxido de calcio es muy utilizado como coagulante ya que es eficaz con otros floculantes que trabajan a pH alcalinos. Otro beneficio del uso de este producto es su propiedad de eliminar olores, ya que también reacciona con materia orgánica y microorganismos. La cal hidratada se emplea conjuntamente, proporciona control de pH, reducción de olores y desinfección (Grupo Calidra, 2002, p. 8)

#### **i. Aplicaciones de la cal.**

- Precipitación (la coagulación y la floculación).
- Remoción de metales pesados (arsénico, bario, cadmio, cromo, flúor, plomo, mercurio, plata y otros).
- Eliminación las impurezas y control de sabor y olor (manganeso, fluoruros, hierro y taninos orgánicos los cuales causan olores indeseables).

- Purificación (en 24 - 28 h, tiene éxito en la destrucción de la bacteria).
- Suavización (suaviza la dureza del agua). Grupo calidra, (2002).
- Regulador o ajuste de pH (procesos mineralúrgicos).
- Neutralizante (de aguas y suelos ácidos).
- Floculante (tratamiento de aguas).
- Desinfectante (aguas contaminadas), entre otros (Guillermo A., 2014).

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

**Cal.-** Es el producto que se obtiene de la calcinación de la piedra caliza por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio. La caliza, al calentarla a 900 °C, pierde el CO<sub>2</sub> y se convierte en cal viva. El CaO mezclado con agua forma el hidrato cálcico, cal apagada (Ca (OH)<sub>2</sub>), se hincha, produce mucho calor y se endurece o, como corrientemente se dice, fragua. La cal viva sometida al tratamiento con agua, se llama cal apagada (hidróxido de calcio).

**Clarificación.** - Proceso de clarificar el agua turbia con la remoción de los materiales suspendidos.

**Coagulación.** - La acción de congregarse la materia suspendida en el agua, coloidal o finamente divididas mediante la adición al líquido de un coagulante adecuado.

**Coloide.** - Es una suspensión de sólidos finamente divididos que no se sedimentan fácilmente, pero que pueden ser eliminados por coagulación.

**Efluente.** - Producto de desecho de un proceso gaseoso, líquido o sólido que es descargado al ambiente. Estos desechos pueden haber sido tratados o no. Cualquier sólido, líquido, gas o semisólido que entra en el ambiente como un subproducto de actividades humanas.

**Floculación.** - Aglomeración de partículas finas suspendidas en un líquido, por métodos químicos o físicos.

**Neutralización.** - Adición de un material ácido o alcalino al agua o al suelo para ajustar su pH hasta alcanzar el valor de 7 (neutro).

**Precipitación.** - Producir en una disolución una materia sólida que caiga al fondo de una vasija.

**Sedimentación.** - Es la separación de partículas sólidas en suspensión de un líquido; se realiza por sedimentación gravitacional. También se llama asentamiento.

**Turbidez.** - Disminución de la transparencia del agua causada por la presencia de partículas sólidas en suspensión a simple vista pero que impide el paso de la luz a través del líquido.

## **2.4. FORMULACIÓN DE HIPOTESIS**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La optimización del consumo del floculante influye directamente en el tratamiento del agua de mina

### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICO**

El floculante es el reactivo determinante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina.

El control del pH interviene directamente en el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina.

## **2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES**

### **2.5.1. VARIABLES INDEPENDIENTES**

Las distintas concentraciones del floculante

#### **a. Factores de la variable independiente**

Floculante y pH.

### **2.5.2. VARIABLES DEPENDIENTES**

Tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina.

## **CAPITULO III**

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

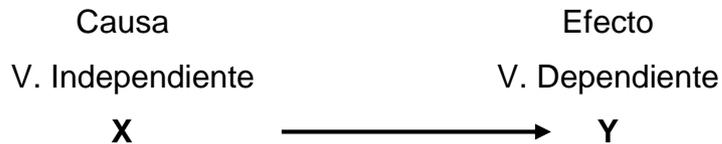
#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.**

La investigación que se realizó es de tipo analítico y explicativo; porque el objetivo planteado indica optimizar el consumo del floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso de las aguas de mina de la Unidad minera Orcopampa - Buenaventura - Arequipa, 2019.

#### **3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El diseño de investigación es experimental mediante las pruebas de jarras (Jar - Test) en los ambientes del laboratorio de HEAP LEACHING CONSULTING S.A.C. Utilizando coagulantes, floculantes, cal, ácido clorhídrico y cloruro de calcio para poder determinar los resultados de cálculos matemáticos y químicos, porque el planteamiento de problema es optimizar la dosificación

adecuada de floculante para la precipitación de metales principalmente el Al, Mn y metales pesados. Para medir, analizar, describir y explicar la interrelación de variables.



### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1. POBLACIÓN**

La población de este trabajo de investigación son las aguas ácidas de la Unidad minera Orcopampa - Compañía de mina Buenaventura - Arequipa, 2019.

#### **3.3.2. MUESTRA**

La muestra de la investigación son las aguas ácidas provenientes de la unidad minera Orcopampa - compañía de mina Buenaventura - Arequipa, que son 300 litros en total, los cuales están separados de 25 litros c/d.

### **3.4. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

Se aplicará el método científico, siendo esto de naturaleza inductiva y deductiva, para identificar la concentración óptima del floculante siendo este método la lógica más confiable.

### **3.5. UBICACIÓN POLÍTICA**

El proyecto “Optimización del consumo del floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina unidad minera Orcopampa – Buenaventura - Arequipa, 2019

Se encuentra ubicada geográficamente en la provincia de Castilla región Arequipa cuyo efluente (aguas acidas) son provenientes de zonas de explotación minera Nazareno.

- Departamento : Arequipa
- Provincia : Castilla
- Distrito : Orcopampa

### **3.6. MATERIALES EQUIPOS Y REACTIVOS EXPERIMENTALES**

#### **3.6.1. MATERIALES**

- 6 vasos precipitados de 1 l.
- 3 probetas 100 ml.
- 1 pipeta de 1ml con escala de 0.1 ml.
- 2 pipetas de 10 a 15 ml.
- 2 matraz de Erlenmeyer de 1 l.
- 1 espátula.
- Jeringas de 01 ml, 1 ml, 5 ml, 10 ml, 20 ml 100 ml, 1 l.
- Envase de plástico 1 l.

### 3.6.2. EQUIPOS

- Turbidímetro.
- pH - Metro.
- Balanza analítica.
- Jar test.
- Agitador magnético.

### 3.6.3. REACTIVOS

- Cal.
- Coagulantes (Cloruro Férrico).
- Floculantes (Magnafloc 1011).
- Ácido clorhídrico.
- Cloruro de calcio.

## 3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Para la recolección de datos se ha elaborado formatos impresos para cada actividad. La elaboración de formatos es fácil y sencilla de anotar los datos. También se ha utilizado una libreta de campo, un cronómetro, cámara fotográfica, recipientes de 1 litro, un balde 10 litros.

**La observación:** Se emplea la observación estructurada, porque se manipulan los hechos que se observen. Asimismo, el trabajo documental, está cerrado en la revisión de libros revistas y otros documentos que tengan relación con nuestra investigación.

También utilizamos las informaciones obtenidas a través del internet.

**Fichaje:** se utiliza el fichaje bibliográfico para anotar los datos referidos a los libros que se maneje durante la investigación.

### **3.8. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

**Para la variable independiente:** Se emplea el escalamiento de Likert, para identificar las distintas concentraciones del floculante, así como su interpretación.

**Para la variable dependiente:** Se formula una serie de análisis con el fin de evaluar y determinar la concentración óptima del floculante para el tratamiento del aluminio y manganeso del agua de mina.

### **3.9. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO**

Los datos numéricos se procesan agrupándolos en intervalos y luego tabulándose. Se construyen con ellos cuadros estadísticos, calculándose además las medidas de tendencia central, de dispersión o de correlación que resulten necesarias. De allí en adelante se trabajan al igual que los otros datos numéricos, mediante la tabulación y el procesamiento en cuadros estadísticos.

### **3.10. PROCEDIMIENTO DE EXPERIMENTO**

#### **3.10.1. PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRA**

Para la presente investigación se tomaron muestras en forma proporcional de cada uno de los bidones almacenados a tiempos diferentes, las muestras fueron mezcladas en un solo recipiente polietileno previamente lavadas como mínimo tres veces con la misma agua residual el cual fue agitado y este proceso se realizó para cada fecha de muestreo. (Ver Anexo 01).

#### **3.10.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL POR COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN**

Las investigaciones experimentales de coagulación – floculación, han sido llevadas a cabo mediante las siguientes unidades.

- Sistema de sedimentación o decantación.
- Sistema o pruebas de jarras (Jar-Test).

**Sistema de sedimentación o decantación.-** Las pruebas de sedimentación o decantación se llevaron a cabo en los recipientes en el Laboratorio de HEAP LEACHING CONSULTING INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.

Las pruebas de realizaron en vasos precipitados de 1 l de capacidad.

**Prueba de jarra (Jar-Test).**- La prueba de jarra es un procedimiento que se utilizó comúnmente en los laboratorios. Este método determina las condiciones de operación óptima generalmente para el tratamiento de aguas, la prueba de jarra permite ajustar el pH, hacer variaciones en la dosis de las diferentes sustancias químicas que se añaden a las muestras, alternar velocidades de mezclado y crear a pequeña escala lo que se podría ver en un equipo de tamaño industrial. Una prueba de jarras puede simular los procesos de coagulación-floculación que promueven la remoción de solidos suspendidos y muestras orgánicas (Terroba, L. 2010, p. 68).

### **3.11. PLAN DE TRATAMIENTO DE LOS DATOS**

#### **3.11.1. MÉTODO DE ANÁLISIS**

Durante la ejecución de la investigación, se realizaron análisis de turbiedad (NTU's), potencial de hidrógeno (pH), entre otros, en tres pruebas distintas mediante las pruebas de jarras con la adición de floculante a diferentes medidas (en ml) a las aguas ácidas a tratar, para luego calcular la remoción de (NTU's) y pH; y así obtener la dosis optima del floculante.

### **3.12. DISEÑO DE TRATAMIENTO PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS**

El diseño de tratamiento de las pruebas de jarras de acuerdo a las hipótesis se muestra en el Anexo 14.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO**

- Preparar y enumerar 03 vasos precipitados de 1 litro de capacidad, introducir en cada vaso un litro de agua ácida a tratar.
- Determinar los siguientes parámetros de agua residual: pH y turbidez.
- Pesar 40 gr de cal en 400 ml de agua destilada para preparar la lechada.
- Iniciar la agitación de 100 revoluciones por minuto (rpm) adicionando lechada de cal al agua acida a tratar para llevar el pH a 10,5 - 11.
- En la etapa de coagulación se le añade 0,05 ml/l
- Disminuir la velocidad de agitación a 50 rpm durante 3 min (agitación lenta floculación) en lo cual dosificaremos a 0,3, 0,5 y 0,75 ppm en cada vaso respectivamente donde se analizará el nivel de turbidez para la selección óptima de la concentración correcta).

- Transcurrido ese tiempo se levanta el agitador, teniendo cuidado de no romper los flóculos, y se deja decantar entre 0 - 5 min.
- En el lapso de tiempo que se decanta se toma pequeñas muestras de aproximadamente de 15 mililitros (ml) de cada vaso precipitado de tiempo de 0 min, 1.5 min, 3 min y 5 min.
- Luego se procede a efectuar la medición de pH, turbidez y otros de cada vaso correspondiente.
- Iniciar una prueba continua en un vaso precipitado de 2 l con el mejor resultado de la concentración óptima para la precipitación de Al y Mn.
- Iniciar la agitación de 100 revoluciones por minuto (rpm) adicionando 3,05 ml de lechada de cal para llevar el pH a 6,5 - 7 para la precipitación de Al teniendo un tiempo de residencia de 15 minuto (min)
- Disminuir la velocidad de agitación a 50 rpm durante 3 min (agitación lenta floculación) en lo cual dosificaremos 0,5 ppm donde nos da mejores resultados según la anterior prueba ya mencionada.
- Transcurrido este tiempo se levanta el agitador, teniendo cuidado de no romper flóculos, y se deja decantar entre 0 - 5 minutos para poder medir la turbidez.
- Una vez decantado se saca la muestra clarificada sin remover la parte precipitada para el posterior tratamiento

- A esta nueva muestra clarificada se le añade lechada de cal para llevarlo a un pH de 10,5 - 11 para la precipitación de Mn.
- En esta etapa de coagulación se le dosifica 0,10 ml de cloruro férrico para formar coágulos por 3 min.
- Disminuir la velocidad de agitación a 50 rpm durante 3 min (agitación lenta floculación) en lo cual dosificaremos a 0,5 ppm del floculante Magnafloc 1011.
- En esta etapa siguiente de acidificación se le añade ácido clorhídrico al 10 % para obtener un pH de 6 - 7.

## 4.2. PRESENTACIÓN ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 4.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA ÁCIDA

La muestra fue evaluada según estado, color y aspecto.

*Tabla 4. 1Propiedades Físicas*

PARÁMETROS	VALORES
Estado	Líquido
Color	Verde Amarillo
Olor	Característica al H <sub>2</sub> O turbio
Aspecto	Líquido turbio

Fuente: Elaboración Propia

### 4.2.2. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA ÁCIDA

La muestra fue analizada en el laboratorio de CERTIMIN por ICP metales totales, ICP metales disueltos y potencial de hidrógeno. Ver tabla 4.2 y 4.3.

**Tabla 4. 2 Análisis Químico de cabeza ICP Metales Totales – Efluente Nazareno**

<b>Ag(t)</b>	<b>Al(t)</b>	<b>As(t)</b>	<b>B(t)</b>	<b>Ba(t)</b>	<b>Be(t)</b>	<b>Bi(t)</b>
<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
0,00052	30,167	0,0411	0,936	0,07846	0,0071	<0,02
<b>Ca(t)</b>	<b>Cd(t)</b>	<b>Ce(t)</b>	<b>Co(t)</b>	<b>Cr(t)</b>	<b>Cu(t)</b>	<b>Fe(t)</b>
<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
221,86	0,00507	0,05	0,14806	0,0083	0,3143	36,66
<b>Hg(t)</b>	<b>K(t)</b>	<b>Li(t)</b>	<b>Mg(t)</b>	<b>Mn(t)</b>	<b>Mo(t)</b>	<b>Na(t)</b>
<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
<0,0001	9,37	0,184	24,35	4,42435	0,0046	87,65
<b>Ni(t)</b>	<b>P(t)</b>	<b>Pb(t)</b>	<b>Sb(t)</b>	<b>SiO<sub>2</sub>(t)</b>	<b>Se(t)</b>	<b>Sn(t)</b>
<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
0,0743	0,62	0,01063	0,0031	42,76	0,003	0,0018
<b>Sr(t)</b>	<b>Ti(t)</b>	<b>Tl(t)</b>	<b>U(t)</b>	<b>V(t)</b>	<b>Zn(t)</b>	
<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	
1,267	0,02	0,0005	0,00848	0,017	0,769	

Fuente: Laboratorio CERTIMIN

**Tabla 4. 3 Análisis Químico de cabeza ICP Metales Disueltos – Efluente Nazareno**

<b>Ag(d)</b>	<b>Al(d)</b>	<b>As(d)</b>	<b>B(d)</b>	<b>Ba(d)</b>	<b>Be(d)</b>	<b>Bi(d)</b>
<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
0,0003	28,812	0,003	0,91	0,04002	0,0069	<0,02
<b>Ca(d)</b>	<b>Cd(d)</b>	<b>Ce(d)</b>	<b>Co(d)</b>	<b>Cr(d)</b>	<b>Cu(d)</b>	<b>Fe(d)</b>
<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
220,41	0,00496	0,05	0,13029	0,0041	0,306	5,2
<b>Hg(d)</b>	<b>K(d)</b>	<b>Li(d)</b>	<b>Mg(d)</b>	<b>Mn(d)</b>	<b>Mo(d)</b>	<b>Na(d)</b>
<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
<0,0001	9,31	0,178	23,68	4,40366	0,00027	86,09
<b>Ni(d)</b>	<b>P(d)</b>	<b>Pb(d)</b>	<b>Sb(d)</b>	<b>SiO<sub>2</sub>(d)</b>	<b>Se(d)</b>	<b>Sn(d)</b>
<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
0,0737	<0,06	0,00958	0,0003	42,18	0,002	<0,0001
<b>Sr(d)</b>	<b>Ti(d)</b>	<b>Tl(d)</b>	<b>U(d)</b>	<b>V(d)</b>	<b>Zn(d)</b>	
<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	
1,2078	<0,01	0,0004	0,00836	<0,001	0,717	

Fuente: Laboratorio CERTIMIN

### 4.3. CONSIDERACIONES PRELIMINARES PARA PRUEBA EXPERIMENTAL

#### 4.3.1. DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD DE AGITACIÓN PARA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

Se ha realizado pruebas de jarras en el Laboratorio HEAP LEACHING CONSULTING S.A.C. Con el agua ácida de estudio, de donde la velocidad óptima es 100 rpm, en la etapa de neutralización - coagulación y 50 rpm en la etapa de clarificación. Esta velocidad es en todas las pruebas realizadas para la investigación.

#### 4.3.2. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DEL FLOCULANTE MEDIANTE LA TURBIDEZ

Los cuadros que a continuación se muestran, llevan consignados los resultados de cada ensayo de turbidez a diferentes tiempos y a diferentes dosis de concentraciones del floculante Magnafloc 1011 en el laboratorio de CERTIMIN con el agua ácida del Efluente Nazareno de la unidad minera Orcopampa. Ver tabla 4.4

*Tabla N°4.4 Resultado de la concentración óptima del floculante*

Nº DE JARRAS	pH 10,5-11			TURBIDEZ							
	DOSIS			Tiempo (min)							
	Lechada de cal (ml)	(FeCl <sub>3</sub> ) ml	(Magnafloc 1011) ml	0		1.5		3		5	
1	3,2	0,05	0,75	268	266	9,90	9,81	1,55	1,57	0,84	1,00
2	3	0,05	0,5	200	201	9,80	9,78	1,60	1,59	0,45	0,46
3	3	0,05	0,3	112	114	1,96	1,90	1,64	1,65	1,08	1,03

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N°4.4 muestra el resultado de la prueba de jarras en términos de turbiedad para diferentes concentraciones de floculante. Se puede observar que la dosis que más remueve el material suspendido o presenta menos turbidez es 0,5 ppm del floculante.

**Tabla N°4.5 Promedio del resultado de la concentración óptima del floculante**

Nº DE JARRAS	pH 10,5-11			TURBIDEZ			
	DOSIS			Tiempo(min)			
	Lechada de cal (ml)	(FeCl <sub>3</sub> ) ml	(Magnafloc 1011) ml				
				0	1.5	3	5
1	3,2	0,05	0,75	267	9,85	1,56	0,92
2	3	0,05	0,5	200	9,79	1,60	0,45
3	3	0,05	0,3	113	1,93	1,64	1,05

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.3. REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ CON LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DEL FLOCULANTE

El porcentaje de remoción de turbiedad (NTU's) de las aguas ácidas, se realizó mediante sedimentación. Para poder determinar el porcentaje de turbidez se ha utilizado los datos de promedio de turbidez, de donde se rescata la turbidez inicial (cabeza) y la turbidez final (5 minutos) para luego calcularla remoción de turbidez.

La remoción de la turbiedad de las aguas ácidas comprende el análisis cuantitativo, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.6.

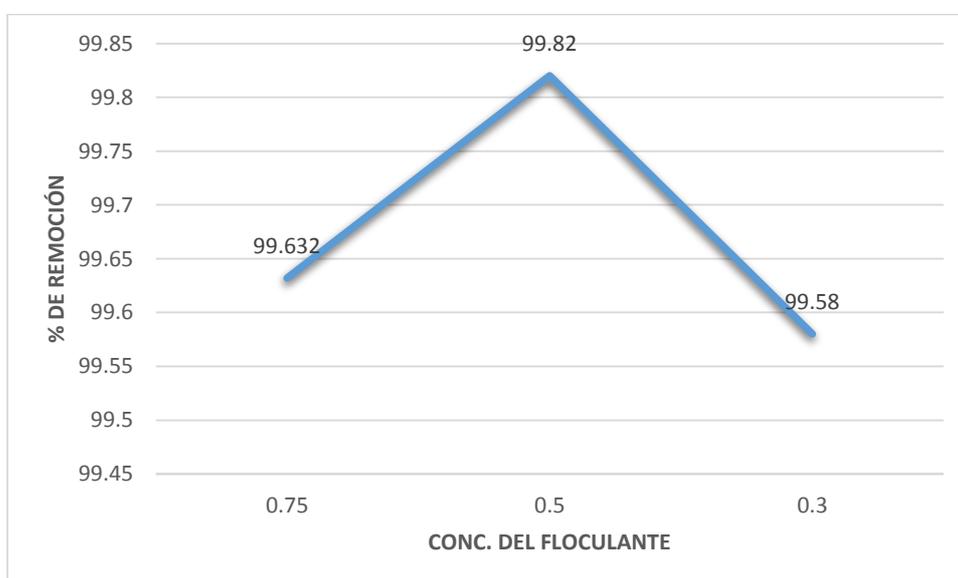
**Tabla N°4.6 Resultado de % de remoción de turbidez**

Nº DE JARRAS	pH 10,5-11			TURBIDEZ		% DE REMOCIÓN
	DOSIS			T. Inicial	T. Final	
	Lechada de cal (ml)	(FeCl <sub>3</sub> ) ml	(Magnafloc 1011) ml			
1	3,2	0,05	0,75	250	0,92	99,63
2	3	0,05	0,5	250	0,45	99,82
3	3	0,05	0,3	250	1,05	99,58

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N°4.6 muestra el resultado de la remoción de la turbidez, donde indica que la remoción de turbidez para la dosis óptima seleccionada anteriormente de 0,05 ppm de floculante, la remoción es 99,82 % calculado para un tiempo final de remoción de 5 minutos.

**GRÁFICO N°4.1 % de remoción de turbidez**



Fuente: Elaboración Propia

COMENTARIO: Podemos ver del gráfico que, a distintas concentraciones del floculante, la óptima concentración es a 0,5 ppm, teniendo una remoción de 99.82 %. Ver GRÁFICO N°4.1

#### 4.3.4. PRUEBA CONTINUA PARA LA REMOCIÓN DE Al y Mn

Se realizó una prueba continua de Neutralización mediante la adición de Lechada de cal, con el fin de precipitar metales pesados entre ellos el aluminio, Manganeso y entre otros, con etapa de Coagulación / Clarificación y sólo con Etapa de Clarificación.

##### a. Etapa de Neutralización.

Se realizó una prueba de neutralización a pH de 6,5 - 7, mediante la adición de lechada de cal preparada al 10% a 15 minutos de tiempo de residencia. Los parámetros de trabajo se detallan a continuación:

Tabla N°4.7 Etapa de Neutralización

Código de Muestra	Vol. inicial (L)	Tiempo de Residencia (min)	NEUTRALIZACIÓN DE pH			
			pH inicial	Lechada de Cal		pH llegado
				Conc. %	Adición ml	
HLC-N09	2,0	15	3,03	10	3,05	6,54

Fuente: Elaboración Propia

## b. Etapa de Clarificación

Una vez concluida la etapa de neutralización, se dosificó el floculante Magnafloc 1011 a 0,5 ppm con el fin de aglomerar y precipitar las partículas en suspensión aplicando agitación lenta (50 rpm). Los parámetros de trabajo se muestran en la siguiente tabla:

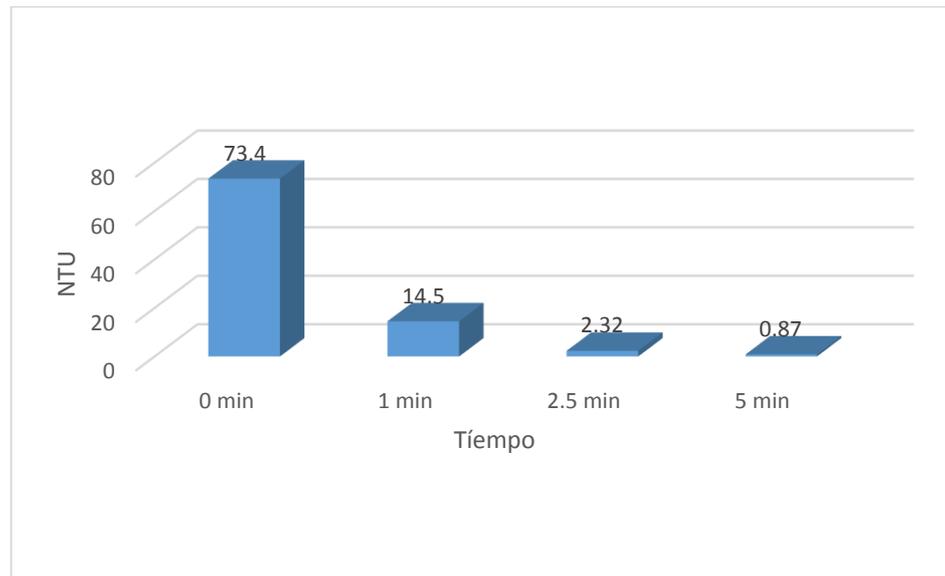
*Tabla N°4.8 Etapa de clarificación*

Código de Muestra	Vol. (L)	Tiempo de Agitación (min)	ETAPA DE CLARIFICACIÓN						
			Conc.	Adición	RPM	Turbidez (NTU's)			
			%	ml		0 min	1 min	2.5 min	5 min
HLC-N09	2,0	3	0,1	1	50	73,4	14,50	2,32	0,87

Fuente: Elaboración Propia

Una vez transcurrido el tiempo de residencia de clarificación se dejó reposar por 5 minutos (durante los cuales se tomaron muestras para análisis por Turbidez) (Ver Tabla N°4.8) posteriormente se procedió a retirar parte de la solución sobrenadante con el cual se procedió a realizar la segunda etapa de precipitación de Manganeseo según se detalla a continuación:

**GRÁFICO N°4.2 Remoción de Turbidez en la etapa de Clarificación del Al**



**Fuente: Elaboración Propia**

*COMENTARIO: En la remoción de turbidez en la etapa de clarificación del Al podemos ver según el gráfico 4.2 que al minuto 5 la remoción de turbidez es 0.87 que está por debajo de los Límites Máximos Permisibles. Ver anexo 17.*

**c. Etapa de Neutralización – Precipitación de Manganeso.**

Se realizó una prueba a continuación de la Precipitación de Aluminio (1 l), en una etapa segunda de neutralización a un pH de 10,5 -11 mediante la adición de lechada de cal preparada al 10 % a un tiempo de residencia de 15 minutos. Los parámetros de trabajo se detallan a continuación:

**Tabla N°4.9 Neutralización – Precipitación de Mn**

Código de Muestra	Vol. inicial (L)	Tiempo de Residencia (min)	NEUTRALIZACIÓN DE pH			
			pH inicial	Lechada de Cal		pH llegado
				Conc.	Adición	
				%	ml	
HLC-N09	1,0	15	6,55	10	1,05	10,97

*n*

*Fuente: Elaboración Propia*

#### **d. Etapa de Coagulación**

Una vez culminada la etapa de neutralización se procedió a dosificar el coagulante ( $\text{FeCl}_3$ ) a razón de 0,05 ml/L con un tiempo de residencia de 3 minutos. Los parámetros de trabajo se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N°4.10 Etapa de Coagulación**

Código de Muestra	Vol. inicial (L)	Tiempo de Residencia (min)	ETAPA DE COAGULACIÓN			
			pH inicial	Coag. Planta		pH llegado
				Conc.	Adición	
				%	ml	
HLC-N09	1,0	3	10,97	-----	0,05	10,31

*Fuente: Elaboración Propia*

#### **e. Etapa de Clarificación**

Después de concluida la etapa de coagulación, se dosificó floculante a 0,5 ppm con el fin de aglomerar las partículas y precipitarlas aplicando agitación lenta a (50 rpm). Los parámetros de trabajo se muestran en la siguiente tabla:

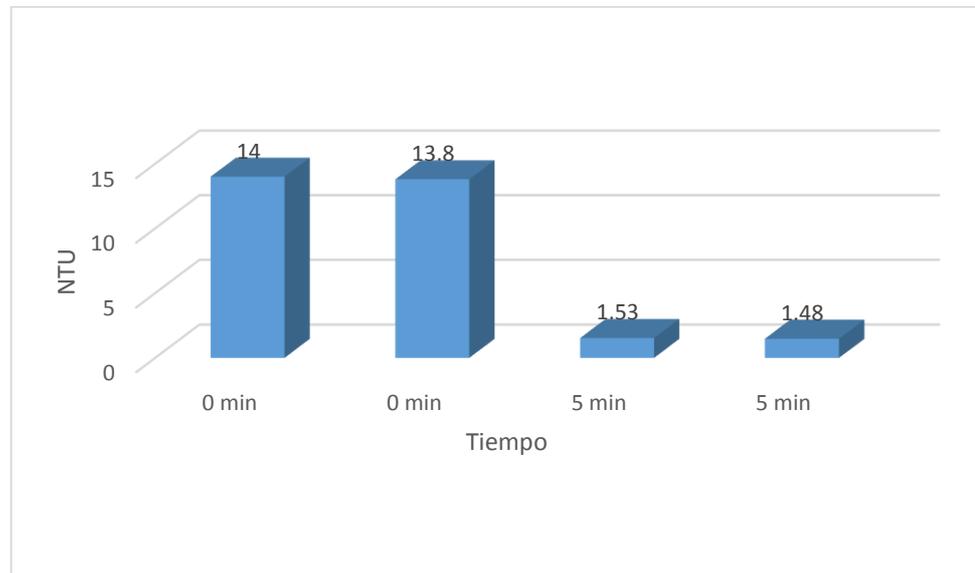
**Tabla N°4.11 Etapa de Clarificación**

Código de Muestra	Vol. (L)	Tiempo de Agitación (min)	ETAPA DE CLARIFICACIÓN						
			Conc. %	Adición ml	RPM	Turbidez (NTU's)			
						0 min		5 min	
HLC-N09	1,0	3	0,1	0,5	50	14,0	13,8	1,53	1,48

Fuente: Elaboración Propia

Una vez transcurrido el tiempo de residencia de clarificación se dejó reposar por 5 minutos adicionales con el fin de extraer la alícuota de solución sobrenadante para el respectivo análisis por ICP (metales totales).

**GRÁFICO N°4.3 Remoción de Turbidez en la etapa de Clarificación del Mn**



Fuente: Elaboración Propia

**COMENTARIO:** Obteniendo dos lecturas en 0 min y 5 min del turbidímetro vemos q a los 5 minutos el nivel de (NTU's) está por debajo de los Límites Máximos Permisibles. Ver anexo 17.

**Tabla N°4.12 Análisis químico de producto ICP Metales Totales.**

<b>Ag(t)</b>	<b>Al(t)</b>	<b>As(t)</b>	<b>B(t)</b>	<b>Ba(t)</b>	<b>Be(t)</b>	<b>Bi(t)</b>
<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
<0,002	0,05	<0,008	0,992	0,034	<0,0003	<0,02
<b>Ca(t)</b>	<b>Cd(t)</b>	<b>Ce(t)</b>	<b>Co(t)</b>	<b>Cr(t)</b>	<b>Cu(t)</b>	<b>Fe(t)</b>
<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
439,83	<0,001	0,09	<0,002	<0,004	<0,003	0,05
<b>Hg(t)</b>	<b>K(t)</b>	<b>Li(t)</b>	<b>Mg(t)</b>	<b>Mn(t)</b>	<b>Mo(t)</b>	<b>Na(t)</b>
<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
<0,0001	9,63	0,162	23,12	0,02	<0,004	90,29
<b>Ni(t)</b>	<b>P(t)</b>	<b>Pb(t)</b>	<b>Sb(t)</b>	<b>SiO<sub>2</sub>(t)</b>	<b>Se(t)</b>	<b>Sn(t)</b>
<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>
<0,002	<0,06	<0,01	<0,008	21,26	<0,02	<0,007
<b>Sr(t)</b>	<b>Ti(t)</b>	<b>Tl(t)</b>	<b>U(t)</b>	<b>V(t)</b>	<b>Zn(t)</b>	
<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	<b>mg/L</b>	
2,0034	<0,01	<0,05	0,00848	0,004	0,047	

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS

La evaluación de la prueba de hipótesis que comprende con la dosis optima de la concentración de floculante y las etapas de neutralización y clarificación - neutralización, coagulación y clarificación de la remoción del Aluminio y Manganeso respectivamente se muestra en la tabla N°4.14.

**Tabla N°4.13 Análisis químico de cabeza del efluente nazareno.**

<b>CABEZA (ppm)</b>			
<b>[M]+</b>	<b>Al</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>
N09	30,17	36,66	4,42

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla N°4.14 Análisis químico del efluente tratado**

<b>EFLUENTE TRATADO (ppm)</b>			
<b>[M]+</b>	<b>Al</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>
N09	0,05	0,05	0,02

*Fuente: Elaboración Propia*

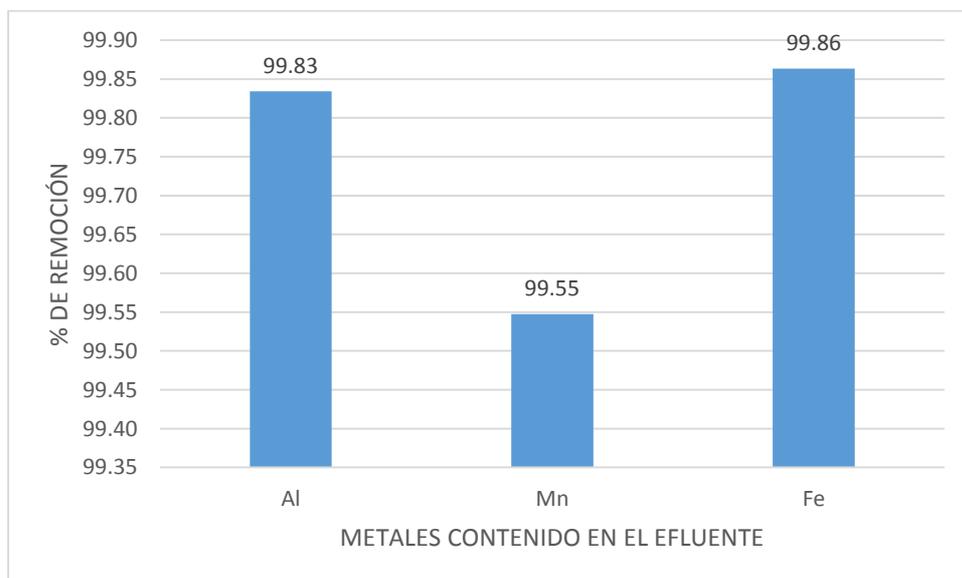
COMENTARIO: En la tabla 4.13 Análisis químico de cabeza de los metales Al, Fe y Mn están por encima de los ECA 3, después del tratamiento respectivo mencionado en esta investigación la remoción del Al, Fe y Mn están por debajo de los ECA 3. Ver en la Tabla N°4.14

**Tabla N°4.15 % De Remoción de los metales contenidos en el efluente tratado**

[M] <sup>+</sup>	CABEZA (ppm)	EFLUENTE TRATADOS (ppm)	% DE REMOCIÓN
Al	30,17	0,05	99,83
Mn	4,42	0,02	99,55
Fe	36,66	0,05	99,86

Fuente: Elaboración Propia

**GRÁFICO N°4.4 % DE LA REMOCIÓN DE LOS METALES CONTENIDOS EN EL EFLUENTE**



Fuente: Elaboración Propia

#### **4.5. EVALUACIÓN DE EFICIENCIA DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.**

Para evaluar la eficiencia del proceso de tratamiento, realizado mediante las pruebas de jarras (*Jar-Test*) bajo las condiciones de la dosis óptima de floculante, respecto a los parámetros de turbidez, pH y se procedió de la siguiente manera. La prueba experimental realizada se evalúa según las normas legales que se tiene las siguientes normas: los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM para evaluar la turbidez y la norma de límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM para sólidos totales en suspensión y pH.

#### **4.6. DISCUSIÓN DEL RESULTADO.**

Según estudios realizados en la empresa HEAP LEACHING CONSULTING INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. Los resultados obtenidos en los NTU en la etapa de clarificación para la remoción de Aluminio obteniendo a los 5 minutos un valor de NTU 1,00, mientras que en la presente tesis alcanza un valor de 0,87.

En la etapa de clarificación para la remoción de Manganeso los resultados de la empresa ya mencionada obtuvieron el valor del

NTU 3,24, mientras en la presente investigación se alcanza un valor de 1,48.

Según estudios realizados en la HEAP LEACHING CONSULTING INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. Los resultados obtenidos en la remoción del Al fue de 1,73 ppm, mientras que en la presente tesis alcanza un valor de 0,05 ppm

Según estudios realizados en la empresa HLC. Ingeniería y Construcción S.A.C. El resultado obtenido en la remoción del Mn fue de 0,418 ppm, mientras que en la presente tesis alcanza un valor de 0,02 ppm.

## CONCLUSIONES

- Se ha logrado la optimización de consumo de floculante a 0,5 ml/L teniendo como resultados la eliminación de sobrenadantes en la parte superior del efluente tratado.
- Para disminuir la turbidez de las aguas ácidas de la unidad minera Orcopampa se ha utilizado la lechada cal al 10 % a una revolución de 100 rpm, coagulante el cloruro férrico a 0.05 ml/L a una revolución de 100 rpm y floculante el Magnafloc 1011 a una dosificación de 0,5 ppm a una revolución de 50 rpm para no romper los flóculos. La turbidez de la muestra inicial fue 250 NTU y la turbidez final para 5 minutos es 0,45 NTU.
- El porcentaje de remoción de turbiedad de las aguas ácidas, se ha calculado a partir las pruebas experimentales realizadas para obtener la dosis óptima del floculante; obteniéndose las concentraciones de remoción de turbidez es 99,82 % en 5 minutos de reposo.
- El porcentaje de remoción de los metales contenidos en el efluente tratado de la unidad minera orcopamapa compañía

de mina buenaventura se ha calculado a partir las pruebas experimentales realizadas obteniéndose la remoción del Al a 0,05 ppm equivalente al 99.83 % en un pH de 6,54, la remoción del Fe a 0,05 ppm equivalente a 99,86 % y la remoción del Mn a 0.02 equivalente a 99.55 % en un pH de 10,97. ver tabla N°4.15

## RECOMENDACIONES

- Para los futuros estudios de la Unidad Minera Orcopampa, realizar más estudios, así como: aceites y grasas de los efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas de Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM
- Se recomienda dosificar la lechada de cal a distintos porcentajes.
- Realizar la continuidad de estudios en cuanto al uso del coagulante a diferentes ppm.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amanqui Quispe, D. J., & Lopez Quispe, F. (2004). *Tratamiento de Aguas Ácidas de la Mina Rinconada en el Afluente del Balcón N° 03. (Tesis de Pre Grado)*. Facultad de Ingeniería de Química. Universidad Nacional del Altiplano Puno - Perú.
- Coloma Álvarez, G. (2008). *La cal: Es un reactivo químico*. Primera edición, Impreso en Chile. Instituto de Ingenieros de Minas de Chile. Recuperado de: [http://www.cbb.cl/cementos/PutDocument.aspx?File=190719\\_La%20Cal%20%C2%A1Es%20Un%20Re.pdf](http://www.cbb.cl/cementos/PutDocument.aspx?File=190719_La%20Cal%20%C2%A1Es%20Un%20Re.pdf).
- Morales Marcavillaca, L. A. (2010). *Tratamiento de efluentes ácidos por NDS (Neutralización coagulante dinámica), para la optimización del proceso. (Tesis Pre Grado)*. Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica. Universidad Nacional del Altiplano Puno - Perú.
- Requena Mendizabal, M. A. (2008). *sistema de tratamiento de integral de aguas residuales industriales en UEA Animón de Empresa Administradora Chungar SAC. (Tesis de Pos Grado)*. Facultad de Ingeniería de Geológica Minera y Metalúrgica. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima - Perú. Recuperado de:[http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/622/1/requena\\_mm.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/622/1/requena_mm.pdf).

- Canaza Mamani, A., & Chambi Chambi, E. (2013). *Evaluación de sedimentadores en Columna y de Flujo Ascensional para Remoción de Fosfato de aguas residuales, Utilizando floculantes Cal y Cloruro Férrico. (Tesis de Pre Grado)*. Facultad de Ingeniería de Química. Universidad Nacional del Altiplano Puno – Perú
  
- Tejada, R. (2017), en su tesis tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la unidad operativa minera Santiago B. *(Tesis de Pre Grado)*. Facultad de Ingeniería de Química. Universidad Nacional del Altiplano Puno – Perú.
  
- Garcia, C. & Tongombol, D. En su publicación Los relaves mineros, su efecto en el ambiente y la salud, presentado en EAP Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión
  
- Garcia Saldaña, C. A., & Tongombol Chuquiango, D. V. (s.f.). Los relaves mineros, su efecto en el ambiente y la salud. EAP Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión. IV CONACIN. Tarapoto, San Martín - Perú., 1
  
- Ray Ramirez.(2013), en su tesis estudio técnico del tratamiento de aguas ácidas. *(Tesis de Pre Grado)*. Facultad de Ingeniería de Química. Universidad Nacional del Callao – Perú.

## **ANEXOS**

*ANEXO N°01 Homogenización de Muestra*



*ANEXO N°02 Formación de Compósitos*



*ANEXO N°03 Cloruro férrico y Magnafloc 1011*



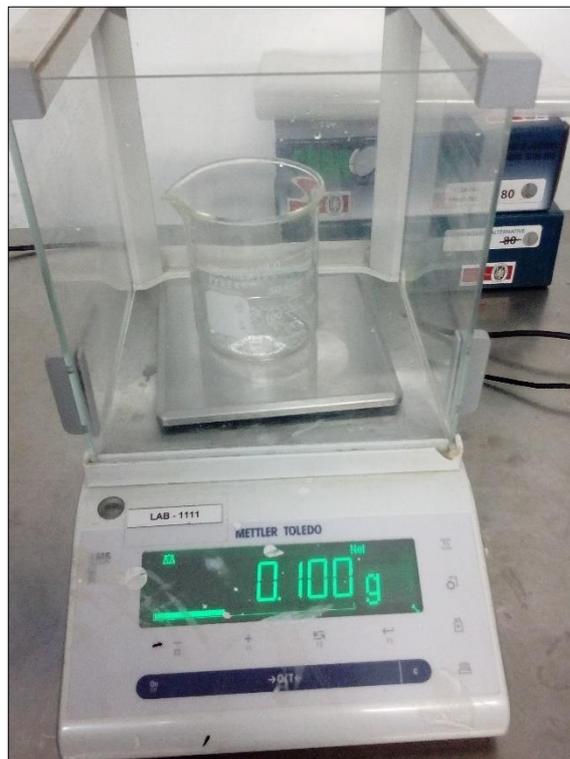
*ANEXO N° 04 Pesaje de Cal*



ANEXO N° 05 Preparación de lechada de cal al 10 %



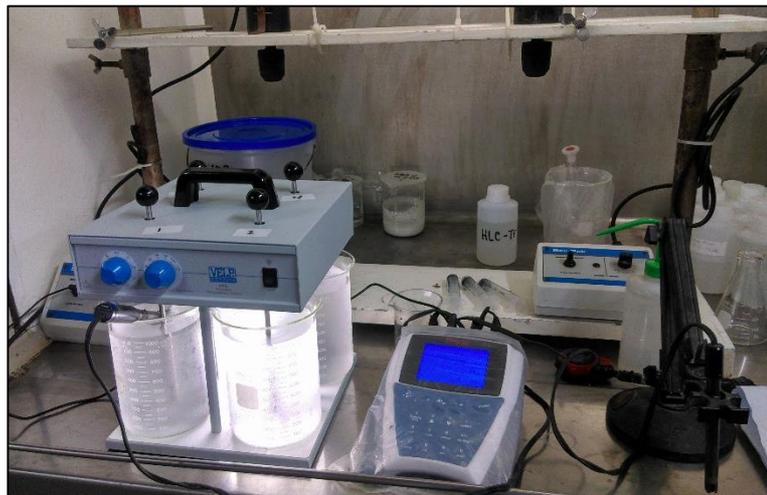
ANEXO N° 06 Pesaje de Floculante.



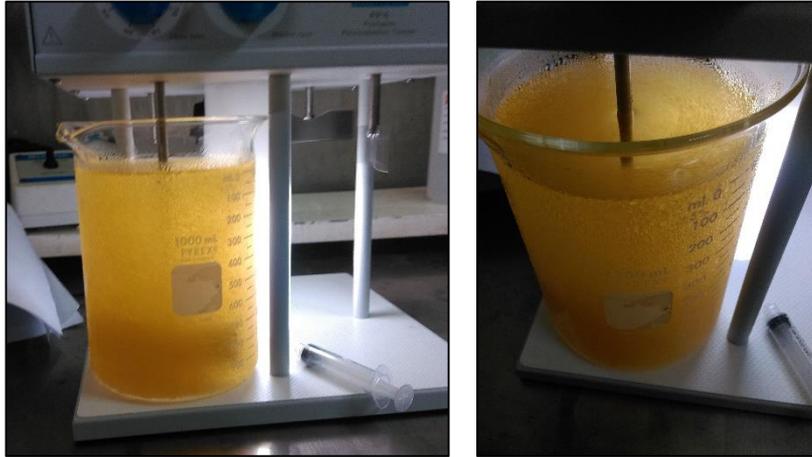
*ANEXO N° 07 Preparación de floculante al 0,1 %*



*ANEXO N°08: Acondicionamiento de Equipos y Área de Trabajo.*



*ANEXO N° 9: Pruebas Metalúrgicas*



*ANEXO N°10 Adición de floculante y sus 5 min de reposo para NTU.*



ANEXO N°11 Muestra para NTU después de los 5 minutos.



ANEXO N°12 Medición de NTU'S



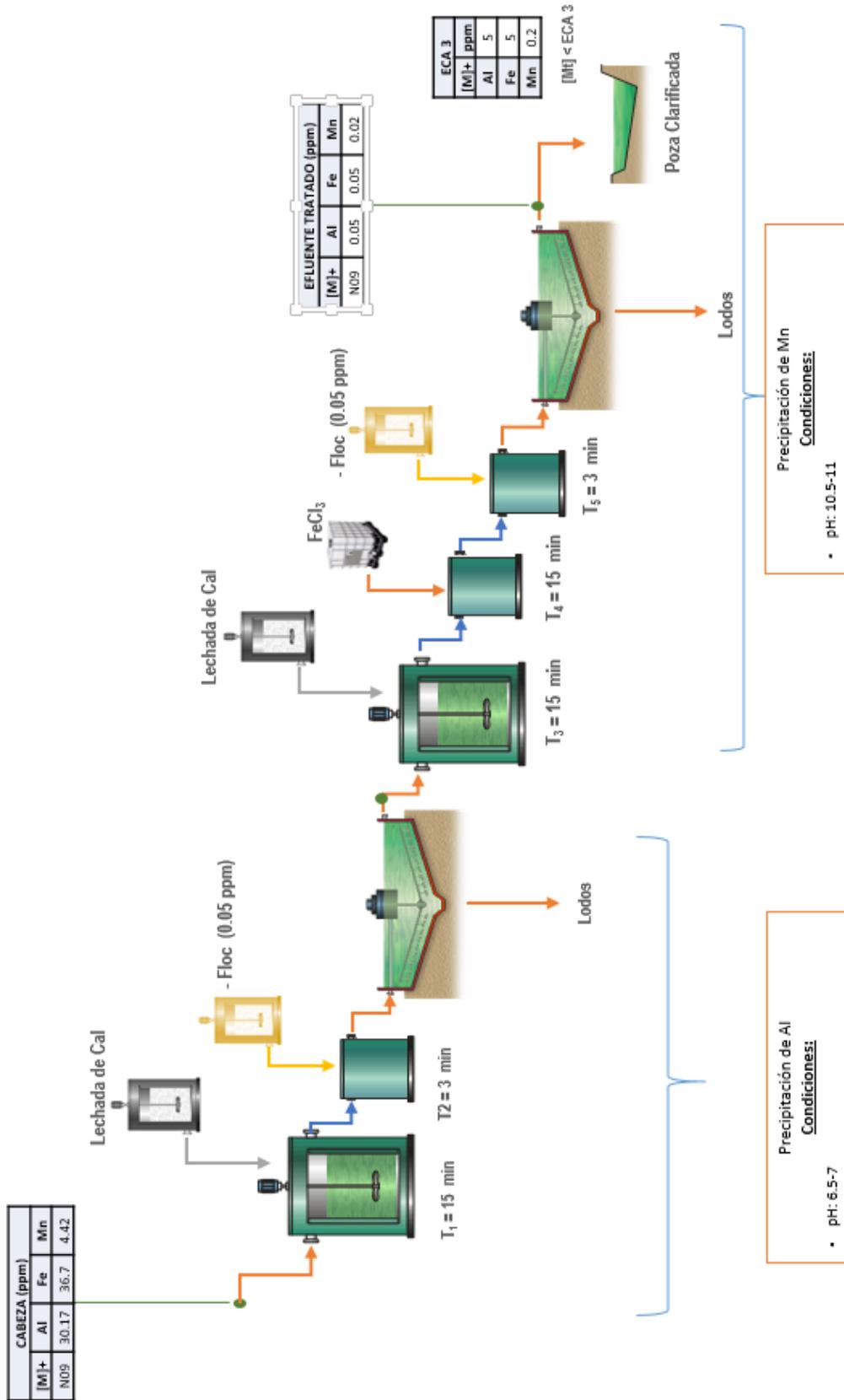
*ANEXO N° 13 Trabajo de gabinete*



ANEXO14 Diseño de Tratamiento



ANEXO 15 Flow Shet



**ANEXO 16 Categoría 1: Poblacional y Recreacional**

**Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable**

Parámetros	Unidad de medida	A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	A2 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	A3 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> ) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
<b>ORGÁNICOS</b>				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C <sub>8</sub> - C <sub>40</sub> )	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	( e )	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodiclorometano	mg/L	0,06	**	**
<b>I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
<b><u>BTEX</u></b>				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
<b><u>Hidrocarburos Aromáticos</u></b>				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
<b><u>Organofosforados</u></b>				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
<b><u>Organoclorados</u></b>				
Aldrín + Dieldrín	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrín	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
<b><u>Carbamato</u></b>				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
<b>FÍSICOS-QUÍMICOS</b>			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	10	**
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
<b>INORGÁNICOS</b>			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
<b>FISICOS- QUÍMICOS</b>					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>					
Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
<b>ORGÁNICO</b>					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
<b>Bifenilos Policlorados</b>					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
<b>ORGANOLÉPTICO</b>					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
<b>MICROBIOLÓGICO</b>					
Coliformes Termotolerantes		≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
		≤ 88 (área restringida) (d)			

Categoría 3 riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	*		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
<b>ORGÁNICO</b>				
<b>Bifenilos Policlorados</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	$\mu$ g/L	0,04		0,045
<b>PLAGUICIDAS</b>				
Paratión	$\mu$ g/L	5		35
<b>Organoclorados</b>				
Aldrín	$\mu$ g/L	0,004		0,7
Clordano	$\mu$ g/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	$\mu$ g/L	0,001		30
Dieldrín	$\mu$ g/L	0,5		0,5
Endosulfán	$\mu$ g/L	0,01		0,01
Endrín	$\mu$ g/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	$\mu$ g/L	0,01		0,03
Lindano	$\mu$ g/L	4		4
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	$\mu$ g/L	1		11

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>Compuestos Orgánicos</b>						
<b>Volátiles</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<b>BTEX</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>						

Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b><u>Bifenilos Policlorados</u></b>						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
<b>PLAGUICIDAS</b>						
<b><u>Organofosforados</u></b>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
<b><u>Organoclorados</u></b>						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrín	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

*ANEXO 17 Límites Máximo Permisibles (LMP) Referenciales de los parámetros de calidad del Agua*

PARÁMETRO	LMP	Referencia
Coliformes totales, UFC/100 mL	0 (ausencia)	(1)
Coliformes termotolerantes, UFC/100 mL	0 (ausencia)	(1)
Bacterias heterotróficas, UFC/mL	500	(1)
pH	6,5 – 8,5	(1)
Turbiedad, UNT	5	(1)
Conductividad, 25°C uS/cm	1500	(3)
Color, UCV – Pt-Co	20	(2)
Cloruros, mg/L	250	(2)
Sulfatos, mg/L	250	(2)
Dureza, mg/L	500	(3)
Nitratos, mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L (*)	50	(1)
Hierro, mg/L	0,3	0,3 (Fe + Mn = 0,5) (2)
Manganeso, mg/L	0,2	0,2 (Fe + Mn = 0,5) (2)
Aluminio, mg/L	0,2	(1)
Cobre, mg/L	3	(2)
Plomo, mg/L (*)	0,1	(2)
Cadmio, mg/L (*)	0,003	(1)
Arsénico, mg/L (*)	0,1	(2)
Mercurio, mg/L (*)	0,001	(1)
Cromo, mg/L (*)	0,05	(1)
Flúor, mg/L	2	(2)
Selenio, mg/L	0,05	(2)

ANEXO 18 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS METALURGICAS

**INFORME DE ENSAYO**  
**N° JUN1009.R18**

<b>SOLICITANTE:</b>	HEAP LEACHING CONSULTING S.A.C.
<b>DOMICILIO LEGAL:</b>	Av. Manuel Olguin 335 Oficina 1701-Urb. Monterrico Chico Surco, Lima Perú
<b>SOLICITADO POR:</b>	Tonino Ramirez Maynetto
<b>SOLICITUD DE SERVICIO AMBIENTAL:</b>	Cadena de Custodia N° 879-18/CERTIMIN
<b>REFERENCIA:</b>	Laboratorio Metalurgico Certimin
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>	2018/05/25
<b>PROTOCOLO:</b>	--
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua de Proceso
<b>NÚMERO DE MUESTRAS:</b>	10
<b>PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS:</b>	Frascos de polietileno sellados.
<b>CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS: RECEPCIONADAS</b>	Muestra en buena condición para el análisis solicitado.
<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b>	Viernes, 25 de mayo de 2018
<b>IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS:</b>	Según se indica.
<b>FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO:</b>	2018-05-25 al 2018-05-31
<b>FECHA DE REPORTE:</b>	Jueves, 31 de mayo de 2018
<b>PERIODO DE CUSTODIA:</b>	Hasta un mes. De acuerdo a las recomendaciones de la Metodología o norma empleada.

**EDGAR NINA VELÁSQUEZ**  
*Jefe Ambiental*  
**CQP. 729**

Lima, 31 de mayo de 2018

Muestras		Elementos																	
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Limite de Detección LD	MON0000	MON0000	MA0147	MA0458	MA0183	MA0132	MA0133	MA0040	MA0178	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122
		Fecha Monitoreo	Tipo Muestra	pH Unid de pH	Conductiv µmho/cm	Turbidez UNT 1.0	NO3-N mg/L 0.10	NO2-N mg/L 0.005	Cl- mg/L 1.5	SO4= mg/L 1	Ag (t) mg/L 0.002	Al (t) mg/L 0.02	As (t) mg/L 0.008	Ba (t) mg/L 0.001	Be (t) mg/L 0.0003	Bi (t) mg/L 0.02	B (t) mg/L 0.003	Ca (t) mg/L 0.05	Cd (t) mg/L 0.001
1	HLC-DM00	2018-05-25	Agua de Proceso	1.6	50350.0	32.2	9.20	0.006	65.7	26389	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	HLC-P13	2018-05-25	Agua de Proceso	5.8	--	--	--	--	192.5	1488	<0.002	0.24	<0.008	0.029	<0.0003	<0.02	0.975	595.86	0.004
3	HLC-P14	2018-05-25	Agua de Proceso	9.9	--	--	--	--	178.6	1326	<0.002	0.87	<0.008	0.029	<0.0003	<0.02	0.964	624.34	<0.001
4	HLC-P15	2018-05-25	Agua de Proceso	7.3	4332.0	--	--	--	220.1	1547	<0.002	0.22	<0.008	0.029	<0.0003	<0.02	0.938	612.84	<0.001
5	HLC-P16	2018-05-25	Agua de Proceso	6.8	4008.0	--	--	--	196.5	1469	<0.002	0.22	<0.008	0.030	<0.0003	<0.02	0.953	622.56	<0.001
6	HLC-P17	2018-05-25	Agua de Proceso	6.9	4036.0	--	--	--	137.2	1684	<0.002	0.15	<0.008	0.027	<0.0003	<0.02	0.999	582.70	0.003
7	HLC-P18	2018-05-25	Agua de Proceso	9.7	4306.0	--	--	--	250.1	1545	<0.002	1.02	<0.008	0.029	<0.0003	<0.02	0.995	698.20	<0.001
8	HLC-P19	2018-05-25	Agua de Proceso	6.6	4630.0	--	--	--	271.3	1582	<0.002	0.22	<0.008	0.029	<0.0003	<0.02	0.996	707.40	<0.001
9	HLC-P20	2018-05-25	Agua de Proceso	6.4	4418.0	--	--	--	241.6	1486	<0.002	0.24	<0.008	0.031	<0.0003	<0.02	1.010	686.38	<0.001
10	HLC-N09	2018-05-25	Agua de Proceso	5.5	--	--	--	--	--	--	<0.002	0.05	<0.008	0.034	<0.0003	<0.02	0.992	439.83	<0.001

Muestras proporcionadas por el cliente.

Muestras		Elementos																			
N°	Codigo de Servicio Elemento Unidad Limite de Detección LD	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122	MA0122		
		Ce (t) mg/L 0.02	Co (t) mg/L 0.002	Cr (t) mg/L 0.004	Cu (t) mg/L 0.003	Fe (t) mg/L 0.01	K (t) mg/L 0.01	Li (t) mg/L 0.004	Mg (t) mg/L 0.02	Mn (t) mg/L 0.001	Mo (t) mg/L 0.004	Na (t) mg/L 0.01	Ni (t) mg/L 0.002	P (t) mg/L 0.06	Pb (t) mg/L 0.01	Sb (t) mg/L 0.008	Se (t) mg/L 0.02	SiO2 (t) mg/L 0.02	Sn (t) mg/L 0.007	Sr (t) mg/L 0.0007	Ti (t) mg/L 0.01
1	HLC-DM00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
2	HLC-P13	0.13	0.198	<0.004	<0.003	0.40	10.07	0.187	48.55	7.821	<0.004	89.76	0.113	<0.06	<0.01	<0.008	<0.02	16.99	<0.007	2.3191	<0.01
3	HLC-P14	0.14	0.016	<0.004	<0.003	0.10	10.04	0.189	47.35	0.717	<0.004	89.64	<0.002	<0.06	<0.01	<0.008	<0.02	10.55	<0.007	2.3409	<0.01
4	HLC-P15	0.14	<0.002	<0.004	<0.003	0.06	9.87	0.182	46.44	0.168	<0.004	87.11	<0.002	<0.06	<0.01	<0.008	<0.02	11.61	<0.007	2.3343	<0.01
5	HLC-P16	0.11	<0.002	<0.004	<0.003	0.05	9.93	0.187	47.26	0.156	<0.004	88.85	<0.002	<0.06	<0.01	<0.008	<0.02	11.67	<0.007	2.3431	<0.01
6	HLC-P17	0.13	0.168	<0.004	<0.003	0.20	10.17	0.193	50.76	7.718	<0.004	92.04	0.085	<0.06	<0.01	<0.008	<0.02	11.15	<0.007	2.2796	<0.01
7	HLC-P18	0.13	0.013	<0.004	<0.003	0.08	10.27	0.200	50.01	0.811	<0.004	93.64	<0.002	<0.06	<0.01	<0.008	<0.02	7.74	<0.007	2.5985	<0.01
8	HLC-P19	0.14	0.006	<0.004	<0.003	0.07	10.36	0.191	50.28	0.457	<0.004	93.44	<0.002	<0.06	<0.01	<0.008	<0.02	7.23	<0.007	2.6331	<0.01
9	HLC-P20	0.15	0.005	<0.004	<0.003	0.06	10.47	0.198	50.73	0.394	<0.004	94.72	<0.002	<0.06	<0.01	<0.008	<0.02	7.41	<0.007	2.6614	<0.01
10	HLC-N09	0.09	<0.002	<0.004	<0.003	0.05	9.63	0.162	23.12	0.020	<0.004	90.29	<0.002	<0.06	<0.01	<0.008	<0.02	21.26	<0.007	2.0034	<0.01



**METODOS DE ENSAYO Y CODIGOS DE SERVICIO**

N°	Descripción			
	Analito	Denominación	Cod.Serv	(1) Norma o Referencia
1	pH	Potencial de Hidrógeno	MA0147	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part-4500-H+ B. pH value. Electrometric Method.
2	Conductiv	Conductividad	MA0458	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part 2510 B. Conductivity. Laboratory Method.
3	Turbidez	Turbidez	MA0183	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part-2130 B. Turbidity. Nephelometric Method.
4	DQO	Demanda Química de Oxígeno	MA0757	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part-5220 D. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.
5	DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno	MA0756	SMEWW 22nd Ed. 2012. Part-5210 B. APHA-AWWA-WEF. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5- Day BOD Test.
6	Metales Totales	Metales Totales	MA0802	EPA Method 200.7. Rev. 4.4 1994 / EPA Method 200.8 Rev. 5.4 1994. Determination of metals and trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma- Atomic Emission Spectrometry- Mass Spectrometry. Metales Validados (Sn, Sr).
7	Metales Disueltos	Metales Disueltos	MA0803	EPA Method 200.7. Rev. 4.4 1994 / EPA Method 200.8 Rev. 5.4 1994. Determination of metals and trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma- Atomic Emission Spectrometry- Mass Spectrometry. Metales Validados (Sn, Sr).
8	SO4=	Sulfato	MA0178	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part 4500- SO42- E. Sulfate. Turbidimetric Method.
9	NO2-N	Nitrito	MA0133	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part 4500-NO2 <sup>-</sup> B. Nitrogen (Nitrite). Colorimetric Method.
10	NO3-N	Nitrato	MA0132	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. 23 rd Ed 2017. Part 4500-NO3 <sup>-</sup> E. Nitrogen (Nitrate). Cadmium Reduction Method.
11	Cl-	Cloruro	MA0040	SMEWW-APHA- AWWA-WEF. 23 rd Ed. 2017. Part- 4500- Cl <sup>-</sup> B. Chloride Argentometric Method.
12	Metales Totales	Metales Totales	MA0122	EPA. Method 200.7. Revisión 4.4. Determination of metals and trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma- Atomic. Emission Spectrometry.