



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Tratamiento físico-químico con lechada de cal y superfloc A-110  
para la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERA AMBIENTAL

**AUTORA:**

Coaquira Madariaga Milagros Yorka (ORCID: 0000-0001-9111-748X)

**ASESOR:**

Dr. Muñoz Ledesma Sabino (ORCID: 0000-0001-6629-7802)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA - PERÚ

2021

## Dedicatoria

Esta investigación va dedicado a nuestro padre celestial, por guiarme y estar siempre en cada paso que doy.

A mi hijo Jhampier Steve Ticona Coaquira por ser mi motor y motivo, a mis padres Crispín Copaquira Mamani y Sofia Madariaga Hanco por darme su apoyo incondicional en mi formación como profesional y a mis hermanos, Magali Coaquira Madariaga y Joel Coaquira Madariaga que estuvieron en los malos y buenos momentos.

## **Agradecimiento**

En primera instancia, expreso mi agradecimiento al Dr. Muñoz Ledesma Sabino por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por la dirección y rigor que ha facilitado a las mismas. Asimismo, agradezco a nuestros docentes quienes nos educaron con principios y valores. Agradezco a mi familia, porque es el motivo de mi esfuerzo, sin ellos no hubiese sido posible estar donde estoy. Gracias a mi hijo por ser motor y motivo. Pero, sobre todo, a mi persona por no rendirme ante la adversidad, por no sucumbir ante los momentos más difíciles, gracias a todos muchas gracias.

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de Tablas.....	¡Error! Marcador no definido.
Índice de Figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract.....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>10</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	10
3.1.1. Tipo de investigación .....	10
3.1.2. Diseño de la investigación .....	10
<b>3.2. Variables y operacionalización.....</b>	<b>10</b>
<b>3.3. Población y muestra de investigación .....</b>	<b>10</b>
3.3.1. Población.....	10
3.3.2. Muestra .....	10
<b>3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....</b>	<b>16</b>
3.4.1. Técnica.....	16
3.4.2. Instrumento de recolección de datos .....	16
<b>3.5. Procedimientos.....</b>	<b>17</b>
3.5.1. En campo .....	17
3.5.2. En laboratorio .....	17
<b>3.6. Método de análisis de datos .....</b>	<b>21</b>
<b>3.7. Aspectos éticos .....</b>	<b>21</b>
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
<b>4.2. Contraste de Hipótesis.....</b>	<b>22</b>
<b>V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>25</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>27</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>28</b>
Referencias .....	29
<b>ANEXOS.....</b>	<b>32</b>

## Índice de Contenidos

<b>Tabla 1.</b> Área de la actividad minera.....	11
<b>Tabla 2.</b> Diseño de las pozas de tratamiento de sedimentos .....	15
<b>Tabla 3.</b> Accesibilidad hacia la UOM Señor de Ananea .....	16
<b>Tabla 4.</b> Concentración de la cal según su pureza .....	18
<b>Tabla 5.</b> Concentración del superfloc A-110 según su pureza .....	18
<b>Tabla 6.</b> Resultados de los parametros iniciales del efluente de la UOM SA ...	22
<b>Tabla 7.</b> Resultado de la remoción de la turbidez con lechada de cal y superfloc A-110 .....	22
<b>Tabla 8.</b> Resultado por ecuación lineal y R2 de dosis mediante turbidez.....	22
<b>Tabla 9.</b> Resultado de la remoción de los SST con lechada de cal y superfloc A-110 .....	23
<b>Tabla 10.</b> Resultado por ecuación lineal y R2 de dosis mediante SST. ....	23
<b>Tabla 11.</b> Porcentaje (%) de remoción de turbidez y SST del efluente de la UOM SA.....	24
<b>Tabla 12.</b> Resultado del % de agua esclarecida con una dosis de coagulante al 3% y floculante al 0.25% .....	24

## Índice de Figuras

Figura 1. Proceso de coagulación, floculación y sedimentación .....	5
Figura 2. Proceso de coagulación .....	7
Figura 3. Proceso de floculación .....	8
Figura 4. Foto de la UOM SA. ....	11
Figura 5. Ciclo Minado .....	15
Figura 6. Turbidez y tiempo.....	23
Figura 7. SST y tiempo. ....	23

## Resumen

La presente tesis titulada Tratamiento físico-químico con lechada de cal y superfloc A-110 para la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA, queda ubicada en el distrito de Ananea de la Concesión HUILLCAKALLE UNO. Donde el problema son las altas concentraciones de turbidez y SST, cuyo objetivo general es determinar la influencia del tratamiento físico-químico con lechada de cal como coagulante y superfloc A-110 como floculante, El diseño de investigación es cuasi experimental, mediante las pruebas de velocidad de sedimentación, realizado en el laboratorio privado RHLAB S.A.C. Se ejecutaron pruebas de sedimentación en vasos precipitados de 1 L y 250 ml, donde el resultado de la turbidez inicial fue de 8 700 NTU y SST fue 30 305 mg/l, en donde la remoción de la turbidez final fue de 62,00 NTU y SST final fue 8 180 mg/l, la dosis optima resulto ser 6 ml/l de lechada de cal al 3% que equivale 225 mg/l y 6 ml/l de la solución de superfloc A-110 al 0,25% que equivale 15,6 mg/l de superfloc A-110, en un tiempo de sedimentación de 60 minutos, logrando recuperar un 60 % de agua esclarecida.

**Palabras Clave:** Tratamiento físico-químico, coagulación, floculación, sedimentación, dosis óptima.

## Abstract

This thesis entitled Physical-chemical treatment with milk of lime and superfloc A-110 for the removal of turbidity and TSS from the UOM SA effluent, is located in the Ananea district of the HUILLCAKALLE UNO Concession. Where the problem is the high concentrations of turbidity and SST, whose general objective is to determine the influence of the physical-chemical treatment with milk of lime as coagulant and superfloc A-110 as flocculant, The research design is quasi-experimental, through the tests of sedimentation rate, carried out in the private laboratory RHLAB SAC Sedimentation tests were run in 1 L and 250 ml beakers, where the initial turbidity result was 8 700 NTU and SST was 30 305 mg / L, where the final turbidity removal was 62.00 NTU. and final SST was 8 180 mg / l, the optimal dose was 6 ml / l of milk of lime at 3% which is equivalent to 225 mg / l and 6 ml / l of the 0.25% superfloc A-110 solution that equivalent to 15.6 mg / l of superfloc A-110, in a sedimentation time of 60 minutes, managing to recover 60% of clarified water.

**Keywords:** Physico-chemical treatment, coagulation, flocculation, sedimentation, optimal dose.



## I.INTRODUCCIÓN

En el mundo entero la humanidad aprovecha los recursos naturales para satisfacer sus necesidades, utilizando entre otras actividades la minería, con métodos diferentes logrando beneficios económicos, pero, genera residuos contaminantes del aire, agua y suelo, siendo necesario una gestión eficiente de estos residuos para evitar deterioro ambiental y riesgo en la salud Pública. El agua es una fuente indispensable para la minería metálica, desde la exploración hasta la extracción y procesamiento de minerales. (Mckinley, 2016)

UOM Señor de Ananea, que será objeto de esta investigación se encuentra ubicado dentro del área de la Concesión Minera HUILLCAKALLI DOS B con código N° 040008403A (explotación minera), CONCESIÓN MINERA HUILLCAKALLE UNO con código N° 040008303 y CONCESIÓN MINERA JHOSELIT UNO con código N° 040003715 (exclusivamente para utilización de algunos componentes ambientales); ubicada geográficamente en sistema de coordenadas UTM Datum WGS-84 de la zona 19S, en donde desarrollan actividad minera aurífera con procesos gravimétricos hidráulicos para la recuperación del oro. El tratamiento minero metalúrgico inicia en la tolva de alimentación o *chutes*, donde el material morreico proveniente del frente minado es disgregado a través de chorros de agua por medio de monitores hidráulicos, la carga formada pasa a través del sistema de clasificación del material mayor a ½". La carga pasante va hacia los canales metálicos con trampas o rifles donde se produce la concentración gravimétrica primaria para atrapar el oro y luego a la continuación por las mesas con alfombras para retener el oro más fino por concentración gravimétrica artesanal, luego el material disperso continua por un canal empedrado para retener partículas más finas de oro. El circuito metalúrgico cuenta con diseño de pozas de relaves que se utiliza para almacenar las partículas finas sedimentadas y clarificar los efluentes para su posterior reúso a través de la recirculación de aguas. Al observar el efluente minero se puede apreciar que presenta altas concentraciones de turbidez que son formadas por las partículas de sólidos suspendidos totales, estas aguas se recirculan sin un previo tratamiento, lo cual genera un problema en la UOM Señor de Ananea, ya que en las pozas de sedimentación la remoción de la turbidez es mínima y los sólidos suspendidos totales demoran en sedimentar y generan el

abastecimiento de agua fresca normalmente es cara, afectando los costos de operación de la UOM Señor de Ananea.

Según TEJADA et al. (2017), las Aguas residuales de relaves minero, contienen altas concentraciones de turbidez y Sólidos suspendidos totales de la UOM Santiago – B, en donde aplico como tratamiento la lechada de cal como coagulante y floculante, en donde el parámetro inicial de la turbidez fue de (81 900 NTU) y SST (67 400 mg/L), el resultado nos indica la dosis óptima de la lechada de cal al 5 % es igual a 0,3 g x l y la reducción del parámetro final de la turbidez fue (19,39 NTU) con un porcentaje de remoción de (99,976%) y SST (18,25 mg/L) con un porcentaje de remoción de (99,973 %). Lo mismo sucede en la UOM Halcón de Oro 2018, en donde aplico una dosis optima de poliácridamida aniónica para 3 muestras, en las muestras (M-1 y M -2) que es igual a 0,4 g con una concentración diluida al 0,4% en 100 ml, y para la muestra (M-3) la dosis óptima fue de 12 mg con una concentración diluida al 12 % en 100 ml. El porcentaje de sedimentación de turbidez del agua se midieron en la muestra (M-2) a una concentración de turbidez inicial de 13 500 NTU, consiguió sedimentar un 99.9 % de turbidez y clarificar un 82,0 % del agua cruda, resultando una turbidez final 14,5 NTU en 30 min. En la muestra (M – 3) la concentración inicial de la turbiedad fue de 7 960 NTU, de lo cual sedimento un 99.2 % de la turbidez y el agua cruda clarificada fue de 69.9%, resultando una turbidez fina de 61,7 NTU en 30 minutos. (Ururi , 2018).

Justificación del problema, debido a que el efluente del proceso minero-metalúrgico presenta altas concentraciones de turbidez y sólidos suspendidos totales me he visto en la necesidad plantear la aplicación de reactivos químicos que ayuden en la remoción de la turbidez y sólidos suspendidos totales del efluente del proceso minero metalúrgico. El Tratamiento físico-químico ayuda a disminuir la turbidez y los sólidos suspendidos totales, ya que se recupera en mayor cantidad agua clarificada que será utilizado en el proceso minero-metalúrgico de la UOM Señor de Ananea. Nuestra investigación va a ser realizada en el laboratorio de Servicios Analíticos químico-metalúrgico. RHLAB S.A.C.

En relación de la Realidad problemática se formula el problema general y los problemas específicos, ¿De qué manera influye el tratamiento físico-químico con la lechada de cal y superfloc A-110 en la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA? La formulación de los problemas específicos son los siguientes, ¿Cuál será la dosis óptima de la cal como coagulante y el superfloc A110 como floculante en la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA? ¿Cuál será el porcentaje de remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA? ¿cuál será el porcentaje de recuperación de agua clarificada del efluente de la UOM SA?

Según la formulación del problema se definió en la investigación como objetivo general es determinar la influencia del tratamiento físico - químico con lechada de cal y superfloc A-110 en la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA. Por consiguiente, los objetivos específicos son, determinar la dosis óptima de la lechada de cal y el superfloc A110 en la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA. Determinar el porcentaje de remoción de la turbidez y SST del efluente minero-metalúrgico. Determinar el porcentaje de recuperación de agua clarificada del efluente de la UOM SA.

La presente investigación planteo como hipótesis General. El tratamiento físico – químico con lechada de cal y el superfloc A110 influye en la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA. Las Hipótesis específicas son: La dosis optima de la lechada de cal y superfloc A-110 influye en la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA. El porcentaje de remoción de la turbidez y los sólidos suspendidos totales, contribuye en la identificación de la eficacia de la lechada de cal como coagulante y superfloc a-110 como floculante del efluente de la UOM SA. El porcentaje de recuperación de agua clarificada, favorece en la recirculación eficiente del efluente de la UOM SA.

## II. MARCO TEÓRICO

(Vallester, y otros, 2020) En su tesis de grado, evaluó la eficacia de la dosis óptima de dos coagulantes, el cloruro férrico y SuperFloc SD 2080, para la etapa de clarificación. En donde se experimentó con varias dosis de coagulante: (3ml, 5ml, 6ml, 7ml, 8ml, 10ml, procediendo a la coagulación, floculación y sedimentación. Deduciendo que el tiempo para remover fue de 57 minutos logrando un porcentaje de 83 % con el cloruro férrico y 37% de con el SuperFloc SD 2080, donde indica que el cloruro férrico es eficiente para remover en mayor cantidad los sólidos suspendidos totales en el agua.

(Puertas, y otros, 2015). En su trabajo de investigación el objetivo es el desarrollo de métodos y procedimientos requeridos para una correcta clarificación, la investigación se desarrolló en laboratorio con el método de prueba de jarras, se determinó que la dosis necesaria del sulfato de aluminio para turbidez inicial 100 NTU es de 100 mg/L y la dosis necesaria de Superfloc A-110 es de 1 mg/L, el proceso combinado de la coagulación-floculación y filtración resulto como turbidez final 1 NTU , en donde la eficiencia del proceso de coagulación-floculación y filtración a es de 99,0 %, logrando que sea viable técnicamente.

(Cuadros oria, y otros, 2020) En su estudio determino la dosis optima del sulfato de Aluminio como coagulante al 0,2 %: 6ml, Super Floc A-110 como floculante a 0,02%: 1 ml e Hidroxido de Sodio como neutralizador de Ph a 0,5 N: 11,5 ml pudo reducir la concentración del zinc del efluente minero a 0,79 mg/l, cifra que se encuentra en los parámetros permitidos de la norma referencia correspondiente a efluentes mineros

(Villanueva, 2017) En dicho trabajo de investigación titulado “Tratamiento de los efluentes de la solución barren”. Se empleó como coagulante CT 3160 y el floculante CT-3561, en donde se determinó la dosis optima mediante las pruebas de velocidad de sedimentación, en donde se puso a prueba 2 variables la turbidez y la concentración del cobre presente en la solución, de esto concluye que el mejor valor es el obtenido en la menor dosificación de coagulante.

En su investigación titulado, Utilizo como neutralizante la cal al 10 %, como coagulante uso el cloruro férrico a 0.05 ml/L y como floculante el magnafloc 1011

a una dosificación de 0.5, en donde la turbidez inicial fue de 250 NTU y con el tratamiento de neutralización, coagulación y floculación tuvo un resultado óptimo de turbidez final a 0.45 NTU, y el porcentaje de remoción fue de 99.82 %.

Los tratamientos de efluentes de minero-metalúrgicos, en nuestro País, están relacionado directamente al efluente que generan en sus operaciones cuyos tratamientos forman parte de procesos destinados a alterar las características físicas, químicas y biológica de los efluentes. (Tejada, 2017,p.21)

Tratamiento físico-químico del efluente tiene como propósito la aplicación de reactivos químicos, la variación del estado físico de las partículas que permanecían por tiempo indeterminado de forma estable pasan a ser susceptibles de separación por sedimentación. La clarificación es una de las etapas del proceso de purificación del agua, que consta de las etapas de coagulación, floculación y sedimentación (Requena, 2008, p.28). La clarificación tiene como objetivo la eliminación de color, turbidez, materiales suspendidos en agua. (Riaños, y otros, 2019).

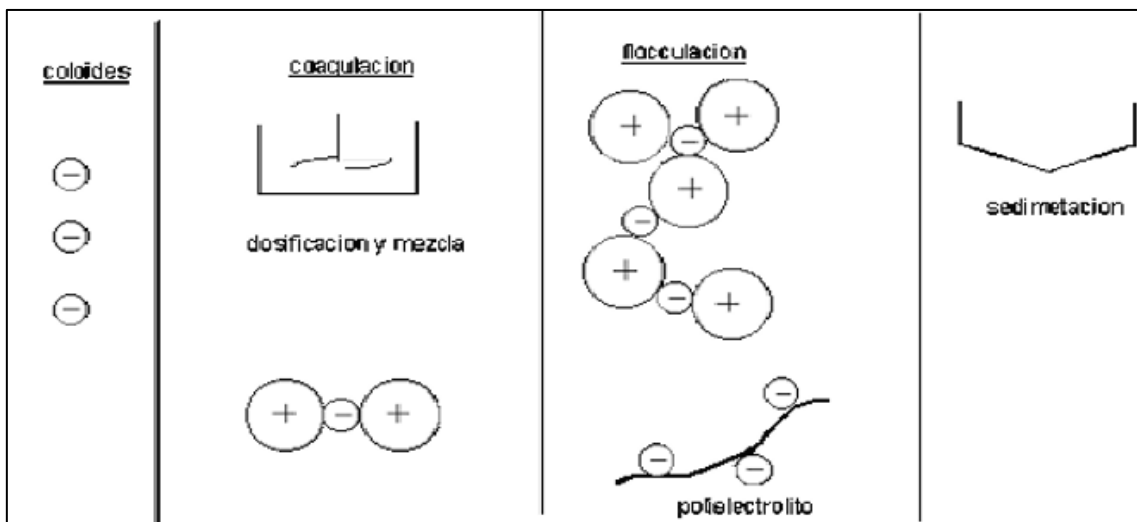


Figura 1. Proceso de coagulación, floculación y sedimentación

Para el proceso de coagulación-floculación es necesaria la adición de sustancias químicas. La primera fase de la clarificación consiste en la desestabilización de las partículas mientras se agita rápidamente para la formación de flóculos. Mientras que el proceso de floculación implica una reducción en la velocidad de

la mezcla para causar flóculos más grandes que pueden sedimentar más fácilmente (Riaños, y otros, 2019)

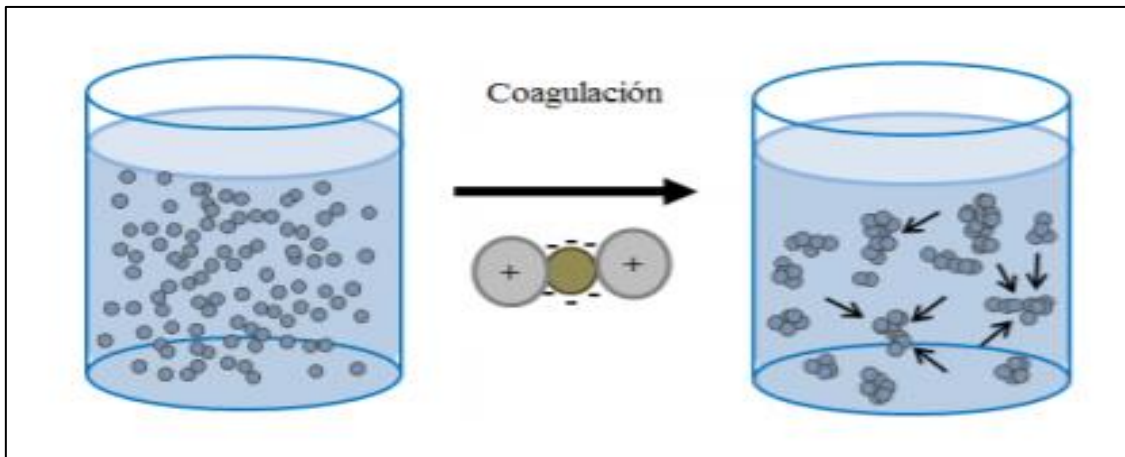
Mecanismo de Coagulación – Floculación, es un proceso en donde las partículas suspendidas se aglomeran formando pequeñas masas con peso específico mayor al del agua, denominadas flóculos, cuyo objetivo es la remoción de la turbidez y sólidos suspendidos totales. (Guzmán, y otros, 2013). Las técnicas que son usadas para la remoción de la turbiedad y sólidos suspendidos totales es el mecanismo de coagulación - floculación. (Francisca, y otros, 2014)

La coagulación es el proceso de desestabilización de las cargas negativas mediante la neutralización de las partículas suspendidas (Cogollo, 2010), es un tratamiento fisicoquímico (Lozano Rivas, 2011). El propósito de la coagulación es modificar las propiedades de los elementos insolubles, de manera que sean fáciles para separar. Es más sencillo separar las partículas de mayor peso específico que las partículas de menor peso específico, la etapa de coagulación tiende a agrupar partículas pequeñas en otras mayores, y estas son más sólidas que se llaman flóculos, para así separarlas con facilidad. (Mejia, 2017)

El reactivo tarda menos de un segundo en inducir la coagulación. Es muy importante homogeneizar el agua y los reactivos. Se necesitan de 30 segundos a 3 minutos para obtener la mezcla ideal. Para obtener buenos resultados, debe utilizar técnicas que se aplica mucha energía.. (FT-PRI-001, 2014)

Antes de la coagulación las aguas a tratar contienen partículas coloidales generalmente con carga eléctrica superficial negativa, las cargas primarias atraen los iones positivos presentes en el medio, los cuales se fijan fuertemente a las partículas y atraen a su contorno iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos. (Ranaval, 2017)

La coagulación es el tratamiento más eficiente, como también genera gastos por la mala aplicación de la dosis del coagulante, conduciendo a la degradación del recurso hídrico. (Andia, 2000)



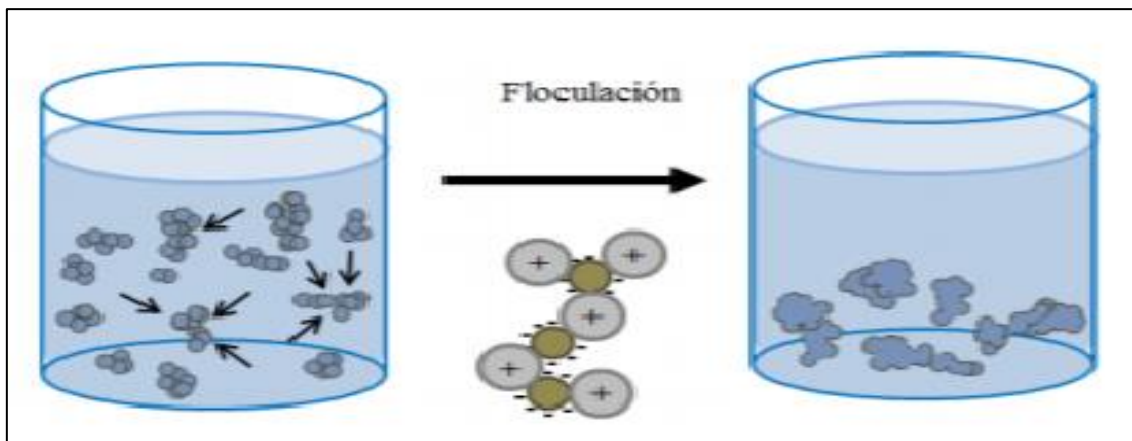
*Figura 2. Proceso de coagulación*

Los factores que influyen en la coagulación son los siguientes: (a) el pH: es la variable más importante al momento de realizar la coagulación, considerando el rango óptimo del pH para cada tipo de agua a tratar, generando una eficiente coagulación. (b) la mezcla: es importante porque procede en 2 etapas; la mezcla rápida genera turbulencia apropiada para homogenizar los reactivos químicos con las partículas suspendidas, para neutralizar las cargas iónicas, el tiempo es de 1-3 minutos en un intervalo de 30 a 100 revoluciones por minutos y cuando cae libremente se recomienda de 15 a 60 segundos por 40 a 60 revoluciones por minuto y por último en la mezcla lenta se genera burbujas que introducen a los flocúlos, logrando que floten, por tal motivo se recomienda un tiempo de 3 a 15 minutos 20 a 60 revoluciones por minuto. (c) las sales disueltas: producen la alteración del rango óptimo del pH, la alteración del tiempo para la floculación, la alteración de la cantidad de coagulantes requerido. (d) la temperatura del agua: la remoción de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un incremento de su viscosidad; esto perjudica la sedimentación del floc.(e) la turbiedad: cuando la concentración de la turbidez es mayor se puede demostrar con facilidad la coagulación, porque la colisión de partículas es mayor, y cuando la concentración de la turbidez es menor, dificulta la coagulación necesitando que se aplica en mayor cantidad el coagulante. (Andia, 2000)

Los coagulantes más empleados para el tratamiento de las aguas residuales industriales son:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  (sulfato de aluminio),  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$  (aluminato de sodio),  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot (\text{NH}_4)\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$  (alumbre de aluminio),  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (caparrosa),  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  (sulfato de hierro),  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (cloruro férrico),

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (cloruro de hierro);  $\text{MgO}$  (óxido de magnesio); Bentonita;  $\text{Na}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$  (silicato de sodio);  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (hidróxido de calcio). (Rivas, y otros, 2017).

La floculación es la segunda etapa de la coagulación, sucede cuando los micro flóculos se someten a una agitación lenta, para formar flóculos que se pueden ver, con suficiente cohesión y densidad para continuar con la tercera etapa que es la sedimentación. (Barros y Rojas, 2020, p.31).



*Figura 3. Proceso de floculación*

Los factores que afectan la floculación son: (a) propiedades del agua; depende de las propiedades físicas y químicas del agua como alcalinidad, turbidez y pH. (b) Tiempo de floculación; el tiempo y la velocidad se proporcióna para la formación de flóculos, existen un tiempo óptimo para la floculación que es de 20 y 40 minutos. (c) Gradiente de velocidad; si el gradiente de velocidad es mayor, más rápida es la velocidad de aglomeración de las partículas. (Duque, 2014)

La sedimentación es la eliminación de partículas suspendidas en el agua por la acción de la gravedad, consiste en la precipitación de los flóculos con un mayor peso específico que el agua, el resultado final es siempre agua clarificada y una suspensión más concentrada. (Vásconez, 2013)

Los factores que influyen la sedimentación son: (a) Calidad del agua; cambios en la concentración de sustancias y la temperatura (b) Condiciones hidráulicas. (c) Procesos previos a la sedimentación. (Chulluncuy, 2011)

La dosis óptima resulta, cuando para cada muestra de agua residual con una concentración de turbidez inicial alcanzan los valores más bajos de



concentración de turbidez. (Cogollo Flórez, 2011). el método para obtener la dosis óptima es la prueba de jarras ejecutado a nivel de laboratorio permite obtener agua clara determinando los parámetros físicos y químicos de procesos de coagulación, floculación y sedimentación; tales como la selección del coagulante, floculante, pH óptimo, la eficiencia de remoción de la turbidez y sólidos suspendidos totales. (Andia, 2000)

La cal como coagulante, es muy económico y obtiene excelentes resultados cuando el pH es alcalino (9-11). La cal es un regulador de pH y es el único de los coagulantes que tiene como objetivo reducir los sólidos disueltos totales. (Tejada, 2017).

El Superfloc A-110 es un floculante anionico altamente eficiente con un peso molecular que favorece a clarificar el agua. Por lo general muestran óptimos resultados en la separación sólido-líquido en un amplio rango de condiciones. (Puertas, y otros, 2015).

La turbidez es una propiedad óptica de la suspensión. La turbidez en el agua es causada por partículas en suspensión de varios tamaños, desde disgregados coloidales hasta partículas de mayor tamaño como arcilla, limo, materia orgánica y minerales. El método nefelométrico, utiliza un nefelómetro para la medición de la turbidez y el resultado se expresa en unidades nefelométrías de turbidez (NTU). Este método compara la intensidad de la luz esparcida en la muestra por una suspensión estándar en las mismas condiciones de medición. (Tenelanda, y otros, 2013)

Los sólidos suspendidos totales (SST), se refieren a la materia particulada que permanece suspendida en la superficie y/o corrientes de agua residual. Estos sólidos se transportan gracias a la acción de arrastre y apoyo del movimiento del agua; los más pequeños (menores a 0.01 mm) no sedimentan inmediatamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayores a 0.01 mm) son generalmente sedimentables. Los SST son indicadores ambientales para determinar cambios geomorfológicos. (Beltran, y otros, 2012)

### **III.METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **3.1.1. Tipo de investigación**

La investigación es de tipo explicativo

##### **3.1.2. Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación fue experimental en su modalidad Cuasi Experimental.

#### **3.2. Variables y operacionalización**

- Variable independiente: Tratamiento físico-químico con lechada de cal y superfloc A-110
- Variable dependiente: Remoción de la turbidez y SST

#### **3.3. Población y muestra de investigación**

##### **3.3.1. Población**

La población de esta investigación fueron los efluentes de las pozas de sedimentación y clarificación lo cual sería el total de 9 144.5 m<sup>3</sup> de efluentes de relaves mineros de la UOM Señor de Ananea.

##### **3.3.2. Muestra**

La cantidad que se tomó para la muestra fue de 12.5 Litros del efluente minero-metalúrgico.

#### **Ubicación y descripción de la población**

##### **Ubicación geográfica**

La UOM Señor de Ananea se encuentra dentro del área de la Concesión Minera HUILLCAKALLI DOS B con código N° 040008403A (explotación minera), CONCESIÓN MINERA HUILLCAKALLE UNO con código N° 040008303 y CONCESIÓN MINERA JHOSELIT UNO con código N° 040003715 (exclusivamente para utilización de algunos componentes ambientales);

ubicada geográficamente en sistema de coordenadas UTM Datum WGS-84 de la zona 19S.



Figura 4. Foto de la UOM SA.

**Tabla 1.** Área de la actividad minera

UTM WGS 84 ZONA 19S			
VERTICE	NORTE	ESTE	AREA (ha)
V-1	8378531.03	443679.71	<b>88.07</b>
V-2	8378477.11	444411.79	
V-3	8377706.59	444389.16	
V-4	<b>8377703.26</b>	<b>444502.34</b>	

Fuente: Expediente técnico de UOM Señor de Ananea

### Accesibilidad

Descripción de la población, el proceso minero metalúrgico se desarrolla en (02) unidades operativas, el mismo que se describe brevemente a continuación:

- Planta de lavado (Chutes) El chute es un equipo estacionario artesanal que consisten de una tolva de madera forrada con planchas de jebe, con ángulo de inclinación de 20° a 22°. En esta sección se procederá al lavado de la grava con la finalidad de liberar el metal valioso y luego concentrarlo en las canaletas. El chute descansa en una base de puntales de eucalipto, reforzado con rocas en la base y rellena con material propio del lugar.

El lavado, en este punto consiste en disgregar el material fluvioglacial que utiliza la presión del agua a 20 psi, utilizando una relación de agua-sólidos de 3:1; la combinación del agua y el material sirven como medio de transporte hacia los canales primarios y secundarios de concentración gravimétrica. Dentro de la actividad minera se tiene instalado dos (02) chutes milliseros y dos (02) chutes para relavado, cuya ubicación se observan en anexos en el plano de componentes ambientales.

- Agua (fresca y reutilizada) El agua fresca utilizada por la Cooperativa Minera Señor de Ananea Ltda., son aguas subterráneas y provenientes de filtraciones, cuyas fuentes se indican a continuación:
  - Captación de agua superficial (filtración) de la actividad minera.
  - Captación de agua subterránea del tajo abierto. El agua reutilizada de las pozas de clarificación de agua y/o bombeo y contingencia para la reposición de pérdidas, el mismo que es bombeada mediante motobombas de 30 HP con mangueras de 4" de jebe reforzada hasta los chutes, al final de la manguera de jebe se colocará una reducción de tipo de 4" a 1.5" de diámetro, esto facilitará el lavado del mineral aurífero con contenido de oro libre.
- Parrilla fija (clasificación de material arena y grava) En la salida de la tolva de lavado está incorporada una parrilla de fierro corrugado de 5/8"; cuyas medidas es de 1.4 a 1.60m de ancho, 2.20 a 2.40m de largo y con una apertura de 1/2" con un ángulo de 35° de inclinación aproximadamente; esto puede variar de acuerdo al tipo de material, de la granulometría de las gravas y porcentaje de humedad; en esta etapa se desarrollará el proceso de clasificación de relaves gruesos de tipo aluvial > 1/2" a más de diámetro considerado como acumulado positivo.
- La alimentación de la carga será controlada por medio de la compuerta de la tolva de los chutes de ambas unidades operativas. Los trozos de <1/2" con contenido de oro pasaran a las canaletas o sluices para la recuperación del metal valioso, los trozos de >1/2" son desmontes

gruesos que serán descargados hacia el botadero o cancha de acumulación de gruesos, de donde serán devueltos para una posterior reposición, para el cierre de mina. El funcionamiento de la parrilla es simple, no necesita del accionamiento de maquina (motor), el mayor cuidado consiste en vigilar la alimentación. Para el mantenimiento se requiere el cambio de las rejillas (fierro corrugado) por aproximadamente cada 40 a 50 días; así como el cambio oportuno de alguna de las piezas expuestas al desgaste periódico.

- Canal con rifles (metálicos) Es un equipo artesanal de plancha metálica, las dimensiones determinadas son: 80 cm de ancho por 12 a 14 metros de longitud (variable), e implementados con riflerías para concentrar el oro libre (grueso). La pendiente del equipo para la concentración del oro será de 3%.
- Mesa con alfombra Es una estructura hidráulica artesanal (canal rectangular) acondicionada con madera, las dimensiones determinadas son: 100 a 120 cm de ancho por 30 a 50 metros de longitud (variable), sobre la base de esta estructura se colocan las alfombras a fin de concentrar el oro libre (fino). La pendiente del equipo para la concentración del oro será de 3%.
- Recojo del concentrado En este proceso se considera la cosecha de arena negra con contenido de oro, en las estructuras (canal metálico con rifles y masa con alfombras) se tiene los productos finales (concentrado final) o los relaves y las aguas que pasan para su pre-tratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario.
- Proceso de Amalgamación El concentrado final se obtiene en una bandeja cónica de metal (batea); después del proceso de amalgamación; luego se procede a la torsión manual con un trapo, como resultado queda una amalgama (oro crudo).

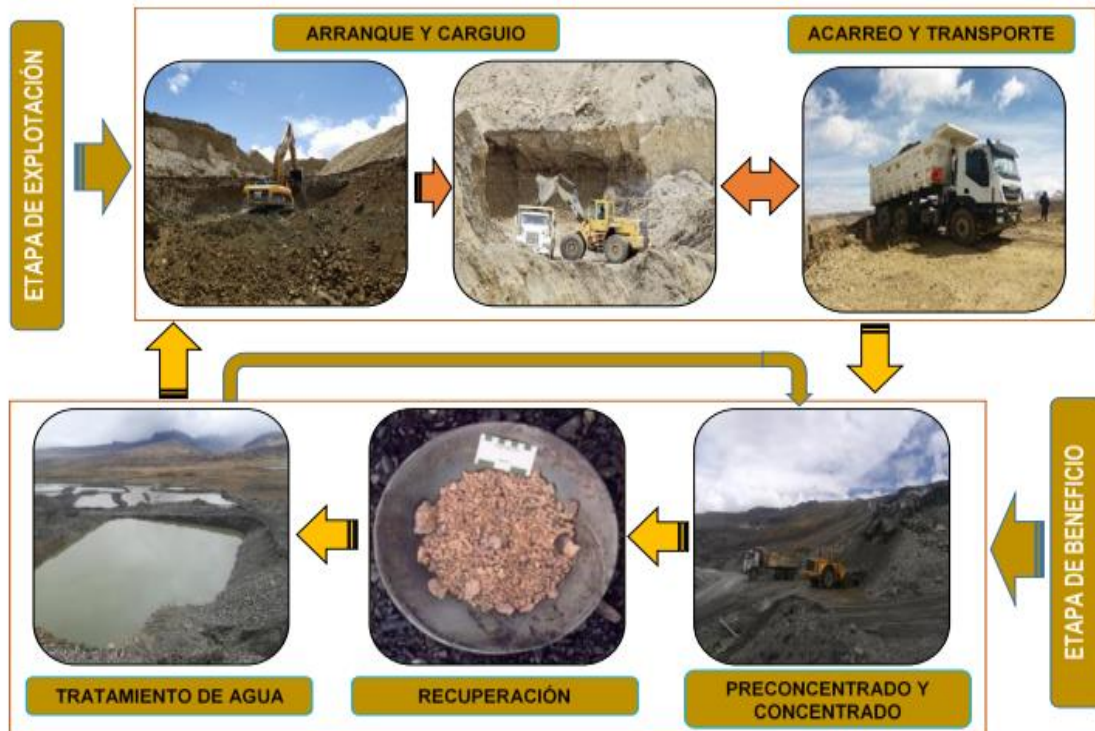
- Prensado y filtrado de amalgama Del proceso de la amalgama que contiene el oro, luego procede a exprimir (torción) para su recuperación de mercurio.
- Poza desarenadora Es una estructura tipo artesanal (poza) de forma irregular cuyo objetivo es retener los sedimentos medios que provienen de la planta de lavado (chute), tamizados y seleccionados, las cuales pasan por la canaleta metálica con rifles y mesa de alfombra, y al final de este se encuentra la poza desarenadora primaria, constituida como tipo badén (15 m x 10 m) para que el cargador frontal pueda evacuar los sedimentos.
- Poza de sedimentación de arenillas finos o limos sistema de sedimentación de partículas finas considerando como una unidad de pretratamiento capaz de eliminar los sólidos en suspensión, exclusivas las sustancias coloidales presentes en la poza de sedimentación.
- Poza de lodos Estructura hidráulica tipo pozas en serie que consiste para sedimentar partículas más finas (coloidales), considera como tratamiento primario previa aplicación de insumos químicos floculantes o coagulantes. Esta parte del sistema es un aspecto primordial dentro de la operación ya que en las pozas de sedimentación se realiza el almacenamiento y sedimentación de los lodos en suspensión para su posterior limpieza y transporte hacia las zonas acondicionadas para su almacenamiento. ♣  
Pozas de sedimentación Estructuras hidráulicas tipo pozas en serie para el tratamiento secundario que consiste en sedimentar las partículas coloidales que han pasado de la poza de lodos.
- Pozas de agua clarificada. El tratamiento tiene como objetivo final lograr fundamentalmente la remoción de sólidos en suspensión (coloidal). Usualmente, la finalidad de la poza de agua clarificada es para reusar las aguas residuales tratadas para la misma actividad minera, así formando el circuito cerrado.

- Poza de contingencia. La poza de contingencia es una estructura hidráulica que se encuentra en la parte inferior o nivel más bajo de los componentes de la actividad minera, el objetivo de esta estructura es recolectar la filtración de agua de las pozas de lodos, sedimentación y agua clarificada y eventos extremos que se pueden presentar en la zona de la actividad minera (precipitación), las aguas almacenadas en esta estructura son reutilizadas para la misma actividad minera

**Tabla 2.** Diseño de las pozas de tratamiento de sedimentos

Volumen	características	Und	DISEÑO DE LAS POZAS DE TRATAMIENTO DE SEDIMENTOS								
			Poza de Arenillas Finas o Limos N° 01	Poza de Arenillas Finas o Limos N° 02	Poza de Lodos N° 01	Poza de Lodos N° 02	Poza sedimentación N° 01	Poza sedimentación N° 02	Pozas de agua clarificada N° 01	Pozas de agua clarificada N° 01	Pozas de contingencia o reúso N° 01
Ancho de fondo	a	m	18	198	98	88	20	25	25	20	10
Largo de fondo	b	m	58	298	138	423	55	25	25	20	50
Talud Interno - externo	z		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Altura total	H	m	6	6	6	6	5	5	5	5	5
Ancho de bordo	A	m	30	210	110	100	30	35	35	30	20
Largo de bordo	B	m	70	310	150	435	65	35	35	30	60
Area de base	Ab	m2	1044	59004	13524	37224	1100	625	625	400	500
Area de bordo	AB	m2	2100	65100	16500	43500	1950	1225	1225	900	1200
<b>Volumen total de la poza</b>		<b>m3</b>	<b>9432.00</b>	<b>372312.00</b>	<b>90072.00</b>	<b>242172.00</b>	<b>7625.00</b>	<b>4625.00</b>	<b>4625.00</b>	<b>3250.00</b>	<b>4250.00</b>
Altura de aliviadero	h'	m	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Altura de sedimentos	h''	m	4.00	4.00	4.00	4.00	2.50	2.50	1.00	1.00	1.00
Altura hidráulica útil	d	m	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	1.50	3.50	4.00
Area de pelo de agua	Apa	m2	1904.00	64064.00	15984.00	42434.00	1856.00	1156.00	1156.00	841.00	1121.00
Area de pelo de sedimentos	Aps	m2	1716.00	63036.00	15476.00	41376.00	1500.00	900.00	729.00	484.00	624.00
<b>Volumen de agua</b>		<b>m3</b>	<b>1810.00</b>	<b>63550.00</b>	<b>15730.00</b>	<b>41905.00</b>	<b>3356.00</b>	<b>2056.00</b>	<b>1413.75</b>	<b>2318.75</b>	<b>3490.00</b>
											<b>137439.50</b>

Fuente: Expediente técnico de UOM Señor de Ananea.



**Figura 5.** Ciclo Minado

**Tabla 3.** *Accesibilidad hacia la UOM Señor de Ananea*

TRAMO	TIPO DE VÍA (TERRESTRE)	CONDICIÓN	DISTANCIA (KM)	TIEMPO (HORAS)
Puno – Juliaca	Asfaltada	Buena	45	45 min
Juliaca – Putina	Asfaltada	Buena	102	1h 20 min
Putina – Ananea	Asfaltada	Buena/ Regular	70	1h 30 min
Ananea - ‘UOM Señor de Ananea’	Trocha	Mala	1.3	18 min
<b>TOTAL</b>				<b>3h 53 min</b>

*Fuente: Expediente técnico de UOM Señor de Ananea.*

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnica**

Se tomó una muestra de 20 Litros de aguas residuales de la UOM Señor de Ananea, después se dosifico el coagulante y floculante en diferentes dosis para la remoción de la turbidez.

#### **3.4.2. Instrumento de recolección de datos**

Para la toma de datos se utilizó la hoja de observación

#### **Materiales**

- 04 vasos de precipitado de un litro
- 12 vasos de precipitado de 250 ml
- 06 matraz de Erlenmeyer de 250 ml
- 06 fioles de 100 ml
- 01 probeta de un litro
- 01 probeta de 100 ml
- 12 jeringas de 10 ml
- 04 varillas de vidrio
- 01 espátula
- 01 piseta de 250 ml
- 01 vernier



## **Equipos**

- Medidor de pH en tiras
- Medidor de TDS-3
- Balanza

## **Reactivos**

- 250 g de Cal
- 100 g de Superfloc A-110
- 1,5 L de Agua destilada

### **3.5. Procedimientos**

#### **3.5.1. En campo**

- Se consideró solo un punto de muestreo
- La cantidad recolectada fue de 20 Litros de agua residual industrial.
- Se ha utilizado un bidón con capacidad de 20 litros de agua, antes de la toma de la muestra se enjuago 3 veces el bidón, y se procedió a la toma de muestra.
- Después se rotula la muestra teniendo en cuenta los siguientes datos: coordenadas del punto de muestreo, tipo de agua, fecha y hora del muestreo.
- Culminado el muestreo y la toma de datos fue enviado al laboratorio RHLAB SAC, ubicado en la ciudad de Juliaca.

#### **3.5.2. En laboratorio**

##### **Preparación de solución coagulante (lechada de cal)**

Preparar 06 fiolas de 100 ml para obtener diferentes tipos de lechada, para la lechada al 0,5% se pesa 0,63 g de cal y se afora a 100 ml con agua destilada, para la lechada al 1% se pesa 1,25 g de cal y se afora a 100 ml con agua destilada, para la lechada al 2% se pesa 2,5 g de cal y se afora a 100 ml con agua destilada, para la lechada al 3% se pesa 3,75 g de cal y se afora a 100 ml con agua destilada, para la lechada al 4% se pesa 5 g de cal y se afora a 100 ml

con agua destilada, para la lechada al 5% se pesa 6,25 g de cal y se afora a 100 ml con agua destilada. Etiquetar cada fiola con la concentración respectiva.

**Tabla 4.** Concentración de la cal según su pureza

Cal → Pureza: 80%	
100 g Impuro ----- 80% Puro x ----- 0.5% Puro x = 0,63 g	100 g Impuro ----- 80% Puro x ----- 1% Puro x = 1,25 g
100 g Impuro ----- 80% Puro x ----- 2% Puro x = 2,5 g	100 g Impuro ----- 80% Puro x ----- 3% Puro x = 3,75 g
100 g Impuro ----- 80% Puro x ----- 4% Puro x = 5 g	100 g Impuro ----- 80% Puro x ----- 5% Puro x = 6,25 g

Fuente: Elaboración Propia

### Preparación de solución floculante (superfloc A-110)

Preparar 06 fiolas de 100 ml para obtener diferentes tipos de solución floculante, para la solución al 0,25% se pesa 0,26 g de superfloc A-110 y se afora a 100 ml con agua destilada, para la solución al 0.50% se pesa 0,53 g de superfloc A-110 y se afora a 100 ml con agua destilada, para la solución al 0.75% se pesa 0,79 g de superfloc A-110 y se afora a 100 ml con agua destilada, para la solución al 1% se pesa 1,05 g de superfloc A-110 y se afora a 100 ml con agua destilada, para la solución al 2% se pesa 2,11 g de superfloc A-110 y se afora a 100 ml con agua destilada, para la solución al 3% se pesa 3,16 g de superfloc A-110 y se afora a 100 ml con agua destilada. Etiquetar cada fiola con la concentración respectiva.

**Tabla 5.** Concentración del superfloc A-110 según su pureza

Superfloc A-110 → Pureza: 95%	
100 g Impuro ----- 95% Puro x ----- 0.25% Puro x = 0,26 g	100 g Impuro ----- 95% Puro x ----- 0,50% Puro x = 0,53 g
100 g Impuro ----- 95% Puro x ----- 0,75% Puro x = 0,79 g	100 g Impuro ----- 95% Puro x ----- 1% Puro x = 1,05 g
100 g Impuro ----- 95% Puro x ----- 2% Puro x = 2,11 g	100 g Impuro ----- 95% Puro x ----- 3% Puro x = 3,16 g

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se determina las diferentes concentraciones para diferentes tipos de lechada de cal.

### **Primera prueba**

- Preparar y enumerar 04 vasos de precipitados de 250 ml de capacidad, introducir en cada vaso 250 ml de agua residual a tratar.
- Determinar los siguientes parámetros del agua experimental: pH, turbidez y sólidos totales en suspensión.
- Pesar y determinar la dosis óptima de cal y preparar la solución patrón, lo cual debe ser determinado por la prueba, empezando por ello con dosis de 0,5%, 1%, 3%, 5%. Para determinar la dosis óptima de solución se debe considerar la que tenga menor turbidez y más rápido.
- Iniciar la agitación, por 1 minuto después de agregadas las dosis (agitación rápida).
- Disminuir la velocidad de agitación por 15 minutos (agitación lenta). Transcurrido este tiempo se deja decantar entre 0 min – 60 min.
- Una vez decantado se toma una pequeña muestra de cada vaso de precipitado, aproximadamente 3,5 ml; luego se procede a efectuar las mediciones de pH, turbidez y sólidos totales en suspensión de cada vaso.
- Registrar los datos obtenidos.

### **Segunda prueba**

- Preparar y enumerar 04 vasos de precipitado de un litro de capacidad, introducir en cada vaso un litro de agua residual a tratar.
- Determinar los siguientes parámetros del agua experimental: pH, turbidez y sólidos totales en suspensión.
- Pesar y determinar la dosis óptima de cal y superfloc A-110, y preparar la solución patrón, lo cual debe ser determinado por la prueba, empezando por ello con dosis de 2%, 3%, 4%, 5% de cal y 0,5%, 1%, 2%, 3% de superfloc A-110. Para determinar la dosis óptima se debe considerar la que tenga menor turbidez y más rápido.
- Iniciar la agitación, por 1 minuto después de agregadas las dosis de cal (agitación rápida).

- Disminuir la velocidad de agitación por 15 minutos después de agregadas las dosis de superfloc A-110 (agitación lenta). Transcurrido este tiempo se deja decantar entre 0 min – 60 min, controlar por lectura cada intervalo de 15 min.
- Una vez decantado se toma una pequeña muestra de cada vaso de precipitado, aproximadamente 15 ml, luego se procede a efectuar las mediciones de pH, turbidez y solidos totales en suspensión de cada vaso.
- Obtenidas las dosis óptimas se repiten los pasos anteriores, pero añadiendo la lechada de cal y la solución floculante obtenida a una cantidad de 2 ml, 4 ml, 6 ml y 8 ml a todos los vasos progresivamente para luego determinar la dosis óptima.
- Registrar los datos obtenidos.

### **Tercera prueba**

- Preparar y enumerar 04 vasos de precipitado de 250 ml de capacidad, introducir en cada vaso 250 ml de agua residual a tratar.
- Determinar los siguientes parámetros del agua experimental: pH, turbidez y solidos totales en suspensión.
- Pesar y determinar la dosis óptima de cal y superfloc A-110, y preparar la solución patrón, lo cual debe ser determinado por la prueba, empezando por ello con dosis de 3% de cal y 0,25%, 0,50%, 0.75%, 1% de superfloc A-110. Para determinar la dosis óptima se debe considerar la que tenga menor turbidez y más rápido.
- Iniciar la agitación, por 1 minuto después de agregadas las dosis de cal (agitación rápida).
- Disminuir la velocidad de agitación por 12 minutos después de agregadas las dosis de superfloc A-110 (agitación lenta). Transcurrido este tiempo se deja decantar entre 0 min – 60 min, controlar por lectura.
- Una vez decantado se toma una pequeña muestra de cada vaso de precipitado, aproximadamente 3,5 ml, luego se procede a efectuar las mediciones de pH, turbidez y solidos totales en suspensión de cada vaso.
- Obtenidas las dosis óptimas se repiten los pasos anteriores, pero añadiendo la lechada de cal y la solución floculante obtenida a una

cantidad de 0,5 ml, 1 ml, 1,5 ml y 2 ml a todos los vasos progresivamente para luego determinar la dosis óptima.

- Registrar los datos obtenidos.

### **3.6. Método de análisis de datos**

El método de análisis de los datos, se utilizará las tablas así desarrollar los datos cuantitativos que resulta en la tesis.

### **3.7. Aspectos éticos**

En la siguiente investigación se respeta la intelectualidad de cada autor, que se consultó para las referencias de las bases teóricas, de lo cual se evidencia que los datos estadísticos no fueron utilizados como procesamiento de datos.

## IV.RESULTADOS

### 4.1. Propiedades de los parámetros iniciales del efluente de la UOM SA

**Tabla 6.** Resultados de los parametros iniciales del efluente de la UOM SA

Parámetro	Unidad	Resultado
Acidez	Ph	7.096
Turbidez	NTU	8 700
SST	mg/L	30305

Fuente: Resultados de Laboratorio

### 4.2. Contraste de Hipótesis

**Tabla 7.** Resultado de la remoción de la turbidez con lechada de cal y superfloc A-110

N° de Jarras	Dosis		Concentración		Turbidez (NTU)				
	Lechada (ml)	Superfloc A-110 (ml)	CaO (mg/l)	Superfloc A-110 (mg/l)	Tiempo (min)				
					0	15	30	45	60
1	0,5	0,5	75	5,2	8700	425	248	120	65
2	1	1	150	10,4	8700	448	248	110	63
3	1,5	1,5	225	15,6	8700	410	240	111	62
4	2	2	300	20,8	8700	400	235	105	60

Fuente: Elaboración propia

Al aplicar 3 % de lechada de cal que equivale a 225 mg/L y 0.25 % de superfloc A-110 que equivale a 15.6 mg/L, lo cual influye en la remoción de la turbidez, llegando remover de un parámetro inicial de turbidez 8700 NTU a 62 NTU.

**Tabla 8.** Resultado por ecuación lineal y R2 de dosis mediante turbidez

N° de Jarras	Dosis		Concentración		Según el programa Excel	
	Lechada (ml)	Superfloc A-110 (ml)	CaO (mg/l)	Superfloc A-110 (mg/l)	Valor de la Ecuación	Valor de R <sup>2</sup>
1	0,5	0,5	75	5,2	$y = -117.17x + 5426.6$	$R^2 = 0.5355$
2	1	1	150	10,4	$y = -117.41x + 5436.2$	$R^2 = 0.538$
3	1,5	1,5	225	15,6	$y = -117.17x + 5419.6$	$R^2 = 0.5344$
4	2	2	300	20,8	$y = -117.17x + 5415$	$R^2 = 0.5338$

Fuente: Elaboración propia

Al aplicar 3 % de lechada de cal que equivale a 225 mg/L y 0.25 % de superfloc A-110 que equivale a 15.6 mg/L, lo cual influye en la remoción de la turbidez, llegando remover de un parámetro inicial de turbidez 8700 NTU a 62 NTU.

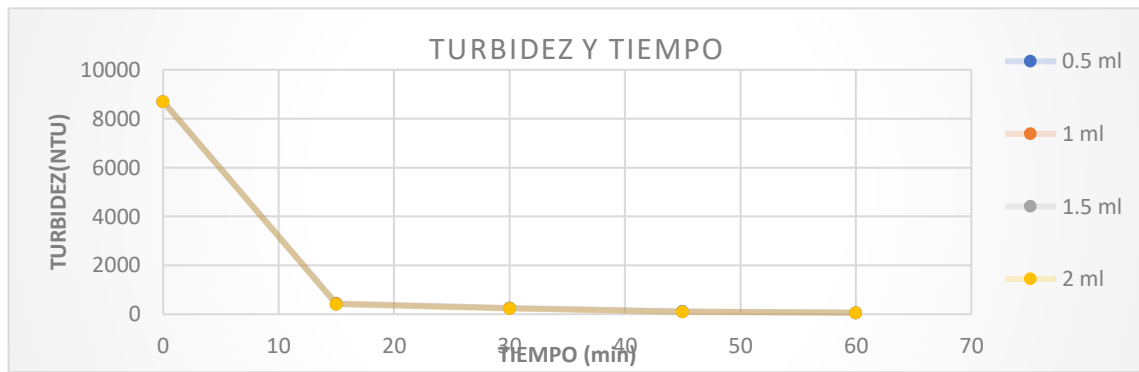


Figura 6. Turbidez y tiempo

**Tabla 9.** Resultado de la remoción de los SST con lechada de cal y superfloc A-110

N° de Jarras	Dosis		Concentración		SST (mg/l)				
	Lechada (ml)	Superfloc A-110 (ml)	CaO (mg/l)	Superfloc A-110 (mg/l)	Tiempo (min)				
					0	15	30	45	60
1	0,5	0,5	75	5,2	30305	16556	13771	10096	8651
2	1	1	150	10,4	30305	16379	13169	9769	8410
3	1,5	1,5	225	15,6	30305	16205	12623	9461	8180
4	2	2	300	20,8	30305	16291	13002	9674	8339

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10.** Resultado por ecuación lineal y R2 de dosis mediante SST.

N° de Jarras	Dosis		Concentración		Según el programa Excel	
	Lechada (ml)	Superfloc A-110 (ml)	CaO (mg/l)	Superfloc A-110 (mg/l)	Valor de la Ecuación	Valor de R <sup>2</sup>
1	0,5	0,5	75	5,2	$y = -331.79x + 25829$	R <sup>2</sup> = 0.8292
2	1	1	150	10,4	$y = -336x + 25686$	R <sup>2</sup> = 0.8235
3	1,5	1,5	225	15,6	$y = -339.96x + 25554$	R <sup>2</sup> = 0.818
4	2	2	300	20,8	$y = -336.99x + 25632$	R <sup>2</sup> = 0.8209

Fuente: Elaboración propia

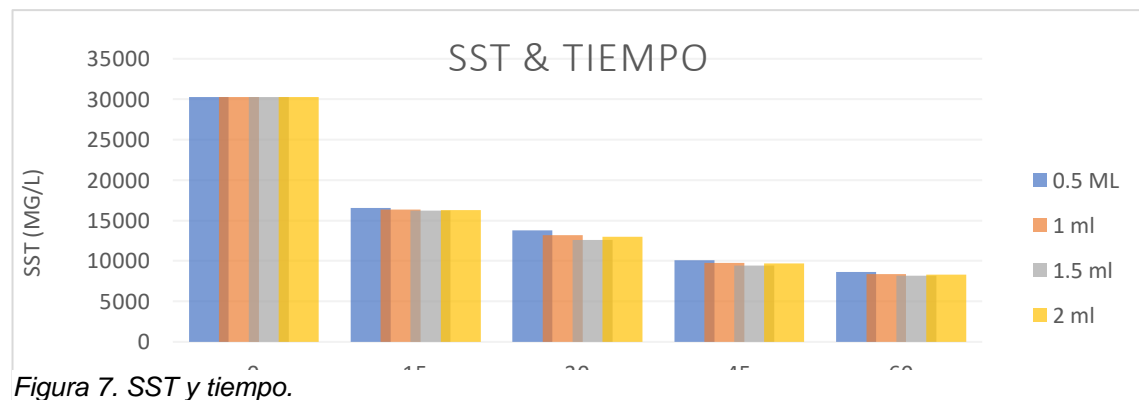


Figura 7. SST y tiempo.

**Tabla 11.** Porcentaje (%) de remoción de turbidez y SST del efluente de la UOM SA

N° de Jarras	Dosis		Concentración		% de Remoción	
	Lechada (ml)	Superfloc A-110 (ml)	CaO (mg/l)	Superfloc A-110 (mg/l)	Turbidez	SST
1	0,5	0,5	75	5,2	99.25	71.45
2	1	1	150	10,4	99.28	72.25
3	1,5	1,5	225	15,6	99.29	73.01
4	2	2	300	20,8	99.31	72.48

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12.** Resultado del % de agua esclarecida con una dosis de coagulante al 3% y floculante al 0.25%

Tiempo (min)	Volumen de agua turbia (ml)				% de agua esclarecida			
	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
0	250	250	250	250	0	0	0	0
5	234.42	232.48	228.51	227.51	6.2	7.0	8.6	9.0
15	185.74	212.29	189.80	201.74	25.7	15.1	24.1	19.3
25	156.74	164.18	163.99	174.24	37.3	34.3	34.4	30.3
35	145.69	144.33	149.73	153.62	41.7	42.3	40.1	38.6
45	133.26	133.90	137.17	134.72	46.7	46.4	45.1	46.1
55	127.05	125.83	127.66	125.44	49.2	49.7	48.9	49.8
65	122.21	116.24	121.55	116.85	51.1	53.5	51.4	53.3
90	108.75	103.96	107.97	102.76	56.5	58.4	56.8	58.9
120	99.43	98.24	99.82	95.89	60.2	60.7	60.1	61.6
840	74.23	80.07	81.15	80.42	70.3	68.0	67.5	67.8

Fuente: Elaboración propia

La tabla 12 muestra el resultado de porcentaje de agua esclarecida con la adición de lechada de cal al 3% y superfloc A-110 al 0.25%, se obtiene que la jarra N°3 que contiene una dosis de coagulante de 6 ml/l que equivale a 225 mg/l y una dosis de floculante de 6 ml/l que equivale a 15,6 mg/l para un total de 250 ml de agua residual de relaves mineros de donde se ha logrado recuperar 67.5% de agua esclarecida.



## V.DISCUSIÓN

Con respecto a (TEJADA MAYTA, 2017): En esta investigación utiliza como método la prueba de jarras, en donde utiliza como coagulante – floculante la Cal (CaO), la dosis óptima que determino fue de cal 6 ml/l a una concentración de 5 % de la Cal. La dosis óptima que sedimento la turbidez inicial de 81 900 NTU a 19,39 NTU y solidos totales iniciales de 67 400 mg/l a 18,25 mg/l, ambos en 60 minutos y el agua que clarifico fue de 50,25 %. La cal como coagulante y el superfloc A-11 como floculante ambos como un complemento. Mientras que en la presente investigación se pudo experimentar que la dosis óptima de la Cal fue al 3 % y el superfloc A-110 fue al 0.25 % en una dosis diluida de 6 ml de cada una respectivamente y se ha logrado recuperar el 60.1 % de agua esclarecida mediante el sistema de sedimentación gravimétrica en vasos de precipitados, se trató de simular el mismo comportamiento de la poza de sedimentación con los vasos de precipitado.

Con respecto a (URURI CALCINA, 2018), En su trabajo de investigación en una parte de la conclusión indica que la recuperación de agua esclarecida fue de 69,0 % en un intervalo de tiempo de 30 minutos, en nuestra investigación la recuperación de agua esclarecida fue de 60.1 % en un tiempo de 2 horas.

Según (VALLESTER, y otros, 2020), en esta investigación en una parte de la conclusión menciona utilizar como coagulante Superfloc SD 2080 en agua cruda, en donde la dosis óptima del SuperFloc SD 280 fue de 5 ml/2L, en donde sedimento la turbidez inicial 444 NTU a 50 NTU y solidos suspendidos inicial 307 ml/L a 58 ml/L, logrando remoción total de 37 % en 57 minutos. En nuestra investigación la remoción de la turbidez fue de 99.29 % y se solidos suspendidos totales fue de 73.01% en 60 minutos.

(PUERTAS, y otros, 2015). En su trabajo de investigación turbidez inicial 100 NTU es de 100 mg/L y la dosis necesaria de Superfloc A-110 es de 1 mg/L, el proceso combinado de la coagulación-floculación y filtración resulto como turbidez final 1 NTU. En nuestra investigación la turbidez inicial fue de 8700 a 50 NTU en 60 minutos, en donde demuestra que una buena dosificación muestra óptimos resultados.

(CUADROS ORIA, y otros, 2020) En su estudio determino la dosis optima del sulfato de Aluminio como coagulante al 0,2 %: 6ml, Super Floc A-110 como floculante a 0,02%: 1 ml e Hidroxido de Sodio como neutralizador de Ph a 0,5 N: 11,5 ml pudo reducir la concentración del zinc del efluente minero a 0,79 mg/l, lo cual determino con el método de prueba de jarras, en nuestro trabajo de investigación se determinó mediante la prueba de velocidad de sedimentación.

(VILLANUEVA, 2017) En dicho trabajo de investigación se determinó la dosis optima mediante las pruebas de velocidad de sedimentación, el tiempo de sedimentación fue de 15 minutos. En nuestra investigación se utilizó la misma prueba de velocidad de sedimentación en donde el tiempo de sedimentación fue de 60 minutos por la alta concentración de turbidez y SST.

(TUCTO, y otros, 2019) En su investigación titulado, Utilizo como neutralizante la cal al 10 %, como coagulante uso el cloruro férrico a 0,05 ml/L y como floculante el magnafloc 1011 a una dosificación de 0.5, en donde la turbidez inicial fue de 250 NTU y con el tratamiento de neutralización, coagulación y floculación tuvo un resultado óptimo de turbidez final a 0,45 NTU, y el porcentaje de remoción fue de 99.82 %. En comparación con nuestra tesis se usó como coagulante la lechada de cal y el superfloc A110. al 3% en donde tuvo como resultado un porcentaje de remoción de Turbidez y SST 99.29 %.

(PUENTE, 2019) El ph de la lechada de cal fue de 10.5, en donde pudo remover los pesados del agua de mina de la UM Huaron, en nuestra tesis para remover la turbidez y los SST se necesitó de un Ph de 7.6.

## VI.CONCLUSIONES

Al aplicar la lechada de cal como floculante al 3% y 0,25 % de superfloc como floculante influye en la remoción de la turbidez y SST, esto se uso en dosis de 6 ml/L del coagulante y floculante logrando recuperar el 60.1 % de agua esclarecida mediante sistema de sedimentación gravimétrica en vasos precipitados en un tiempo de 2 horas.

Para poder determinar la dosis óptima de cal (CaO) y superfloc A-110 se ha realizado 3 pruebas, donde se ha determinado como dosis óptima 6 ml/l de lechada de cal (  $[\text{Ca}(\text{OH})]_2$  al 3% que equivale a 225 mg/l de cal y 6 ml/l de la solución de superfloc A-110 al 0,25% que equivale a 15,6 mg/l de superfloc A-110.

## **VII.RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda hacer pruebas con coagulantes y floculantes naturales y/o para mejorar la remoción de la turbidez y SST, en donde se pueda lograr recuperar agua esclarecida en un 90%de los efluentes de la UOM SA.
2. También se recomienda realizar estudios futuros en la UOM SA sobre la remoción de metales pesados (mercurio, cianuro, cobre, hierro, plomo y zinc) y realizar comparaciones con los Límites máximos permisibles.

## REFERENCIAS

1. ANDIA Cárdenas, Yolanda. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. Lima: s.n., 2000.
2. BARROS Bazurto, Carlos Alberto, Rojas Jaraba, David Alejandro. Optimización en los sistemas de floculación-coagulación-sedimentación de la planta de tratamiento de agua potable "la Paola", durante la temporada invernal. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2020. Disponible en <https://hdl.handle.net/10983/24887>.
3. CHULLUNCUY Camacho, Nadia Cristina. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2011. págs. 153-170. ISSN:1025-9929.
4. COGOLLO Flórez, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de Aluminio. Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2011. págs. 18-27. ISSN: 2346-2183.
5. CUADROS Oria, Saida Margarita, Uriarte Ortiz, Alez Santiago y Luz Alexandra, Javier Silva. Reducción del zinc mediante sulfato de aluminio y superfloc a -110: nivel laboratorio. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2020. ISSN-L:1561-0888.
6. DUQUE Arguello, Gabriela Evelyn. Aprovechamiento de los gases de combustión de caldero en la neutralización de aguas residuales alcalinas. Quito: Universidad Central del Ecuador, 2014.
7. FRANCISCA, Franco y Carro Perez, Magalí Evelín. 2014. Remoción de arsénico en agua mediante procesos de coagulación-floculación. México: Revista internacional de contaminación ambiental, 2014. ISSN: 0188-4999.
8. FT-PRI-001. 2014. Coagulación - floculación(FT-PRI-001). Coruña: Universidad De Coruña, 2014.
9. GUZMÁN, Luis, y otros. Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. Universidad de Cartagena. Cartagena : Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 2013. pág. 255.
10. LOZANO Rivas, William Antonio. Uso del extracto de fique (*furcraea* sp.) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de efluentes de pastelería. Colombia : Universidad Antonio Nariño, 2011. págs. 21-34. ISSN: 1909-0455.
11. MEJIA Ajcucun, Walter René. Diseño y construcción de un sedimentador circular a escala piloto para espesamiento de lodos residuales de un proceso de fabricación de ZnSO<sub>4</sub> en la planta de fertilizantes de la empresa representaciones químicas, S.A. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017.
12. MORENO Pérez, Sandy Celina. Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando

- Opuntia Ficus Indica, Aloe Vera y Caesalpinia Spinosa. Trujillo: Universidad Cesar vallejo, 2016.
13. OLIVIA Uc, J, Giacomán Vallejos, g y Perez Cortés. Estudio de la dinámica de sedimentación de lodos mediante un sistema óptico. Merida, Mexico: Universidad Autónoma De Yucatán, 2008. 1665-529x.
  14. PUENTE Rodríguez, Adán Edmundo. Optimización del sistema de tratamiento y disposición. Lima: Universidad Nacional Mayor De San Marcos, 2019.
  15. PUERTAS Rodríguez, Esaú Eduardo y Torres Velásquez, Carol Stephanie. Estudio comparativo de los procesos: coagulación - floculación, filtración y su combinación, para determinar el proceso más eficiente en la clarificación de agua utilizadas en el vivero vitivinícola de la autoridad de majes. Arequipa: Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, 2015.
  16. RANAVAL Ranaval, Julián Matías. Estudio del efecto de la arcilla caolinita en la velocidad de sedimentación y yield stress empleando floculante aniónico y catiónico en pulpas de cuarzo. Chile: Universidad De Concepción, 2017.
  17. RESTREPO, Hernán. Evaluación del proceso de coagulación - floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Colombia: universidad nacional de colombia, 2009.
  18. 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. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/622/1/requena\\_mm.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/622/1/requena_mm.pdf).
  19. RIAÑOS Donado, Katerine, Meza Leones, María Carolina Y Mercado Martínez, Iván Darío. Clarification of the water of wetlands using a mixture of natural coagulants. Universidad del atlántico. Colombia: Universidad Del Atlántico, 2019. ISSN: 0012-7353.
  20. RIVAS Romero, Sorangel, Menés Vuelta, Gerardo Y Rómulo Rodríguez, Aimet. Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la empresa del níquel comandante ernesto che guevara. Cuba : rtq (online), 2017. Págs. 173-183. Issn 2224-6185.
  21. SOBRADOS Quispe, Oscar Alberto Y Vela Matta, Brian Alexis. Determinación de las condiciones de operación para el tratamiento de agua de relaves de una empresa minera en Cajamarca mediante reducción de sulfatos con lechada de cal. Callao: Universidad Nacional del Callao, 2017.
  22. TEJADA Mayta, Ronal. Tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la unidad operativa minera Santiago -B. Puno: Universidad nacional del Altiplano, 2017.

23. TENELANDA Patiño, Freddy Rodrigo Y Muyulema Pinguil, José Ezequiel. Optimización de la unidad de floculación y calidad, microbiológica y físico-química del agua del sistema de . Ecuador: Universidad De Cuenca, 2013.
24. TUCTO Ambrosio, Roy Alexander y Huamán De La Cruz, Manuel Antonio. Optimización del sistema de tratamiento y disposición. Cerro De Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2019.
25. URRUSUMO Gonzales, Adrián. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la depuración de efluentes procedentes de un lavadero de carbón. Oviedo: Universidad De Oviedo, 2017.
26. URURI Calcina, Dino Dalthon. Evaluación del proceso de sedimentación con poliacrilamina anionica en las aguas residuales del circuito de pozas de la unidad operativa minera halcon de oro - Ananea. Puno: Universidad Nacional Del Altiplano, 2018.
27. VALLESTER, Erick, Alcedo Anel, Bravo Jesús, Castrejo, Herrera, Sanchez Maye, Valencia Thaily. Evaluación de la eficiencia del coagulante SuperFloc SD 2080 frente al cloruro férrico en procesos de clarificación de agua. Panama: Universidad Tecnológica de Panamá, 2020. págs. 67-71. ISSN 2412-0464.
28. VÁSCONEZ Flores, Diego Bladimir. Reducción de nivel de solidos suspendidos del . Quito: Universidad Central de Ecuador, 2013.
29. VILCA Cabana, Sebastián Ramiro. Recuperación de cadmio y Zinc en la unidad minera el Cofre con el reactivo mpp50 por coagulación - floculación. Puno: Universidad Nacional Del Altiplano, 2018.
30. VILLACRESES, JA, Vega, JC y Matamoros, D. Evaluacion de dos casos de estudio del fenomeno de sedimentación en el tratamiento del agua. Litoral: Instituto de Ciencias Químicas y ambientales, 2006.
31. VILLANUEVA Zegarra, Eder Daniel. Tratamiento de los efluentes de la solución barren. Arequipa: Universidad Nacional De San Agustín, 2017.
32. MCKINLEY, Andrés Consideraciones clave para el debate sobre la minería metálica en El Salvador. Anuario de Estudios Centroamericanos [en línea]. 2016, 42( ), 45-62[fecha de Consulta 03 de febrero de 2021]. ISSN: 0377-7316. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15248437003>

## ANEXOS

### Anexo 01. Preparación de lechadas de cal



### Anexo 02: Preparación de solución floculante





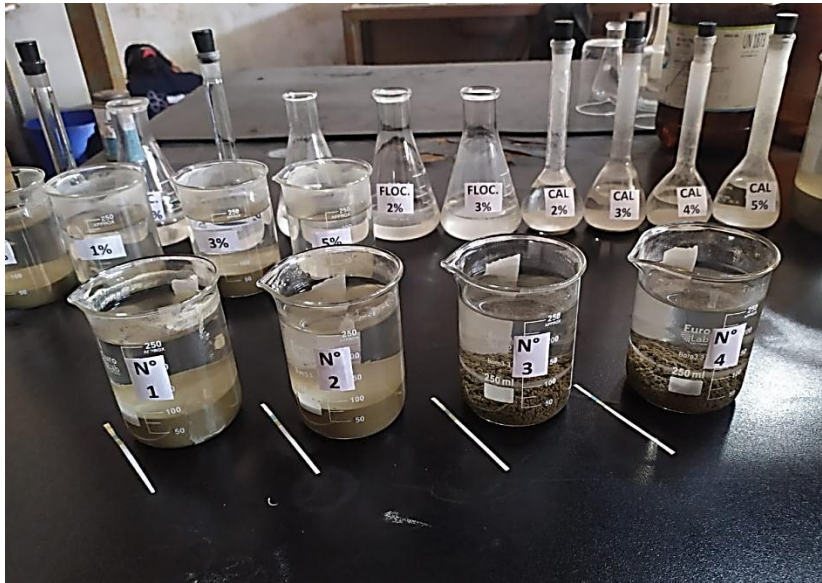
### Anexo 03: Primera prueba



### Anexo 04: Segunda prueba



### Anexo 05: Tercera prueba



## Tratamiento físico-químico con lechada de cal y superfloc A-110 para la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA

				Operalización de Variables				
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO CON LECHADA DE CAL Y SUPERFLOC A-110	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	
¿De qué manera influye el tratamiento físico-químico con la lechada de cal y superfloc A-110 en la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA?	Determinar la influencia del tratamiento físico - químico con lechada de cal y superfloc A-110 en la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA.	El tratamiento físico – químico con lechada de cal y el superfloc A110 influye en la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA.		REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ Y SST	Tratamiento físico-químico del efluente tiene como propósito la aplicación de reactivos químicos, la variación del estado físico de las partículas que permanecían por tiempo indeterminado de forma estable pasan a ser susceptibles de separación por sedimentación. La clarificación es una de las etapas del proceso de purificación del agua, que consta de las etapas de coagulación, floculación y sedimentación (Requena	El tratamiento físico-químico se determinaran mediante la experimentación de pruebas de velocidad de sedimentacion, aplicando varias dosis del coagulante y floculante.	Dosificación	dosis optima de la cal
			sedimentacion				dosis op0tima de Superfloc A-110	ml
							pH	1 -14
							velocidad de sedimentación	cm/min
tiempo de sedimentación	min							
	<b>0 Objetivos Especificos</b>	<b>Hipotesis Especificos</b>						
¿Cuál será la dosis óptima de la cal como coagulante y el superfloc A110 como floculante en la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA?	determinar la dosis óptima de la lechada de cal y el superfloc A110 en la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA	La dosis optima de la lechada de cal y superfloc A-110 influye en la remoción de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA		La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos mas solidos suspendidos totales haya en el agua, mas sucia parecera esta y mas alta sera la turbidez. .(OVALLE,otros 2014)	El resultado indicara la disminuci3n de la Turbidez, la disminuci3n de solidos en suspensi3n totales y la recuperaci3n del % del agua esclarecida.	Turbidez	concentraci3n Inicial	NTU
		concentraci3n final	NTU					
¿Cuál será el porcentaje de remoci3n de la turbidez y SST del efluente de la UOM SA?	Determinar el porcentaje de remoci3n de la turbidez y SST del efluente minero-metalúrgico	El porcentaje de remoci3n de la turbidez y los sólidos suspendidos totales, contribuye en la identificaci3n de la eficacia de la lechada de cal como coagulante y superfloc a-110 como floculante del efluente de la UOM SA				Solidos suspendidos totales	concentraci3n Inicial	SST
			Concentraci3n final				SST	
¿cuál será el porcentaje de recuperaci3n de agua clarificada del efluente de la UOM SA?	Determinar el porcentaje de recuperaci3n de agua clarificada del efluente de la UOM SA.	El porcentaje de recuperaci3n de agua clarificada, favorece en la recirculaci3n eficiente del efluente de la UOM SA.		agua esclarecida	% de recuperaci3n del agua esclarecida	%		

## HOJA DE OBSERVACIÓN

### REGISTRO DE DATOS EN PUNTO DE MUESTREO

**Materiales:**

- GPS  - Botellas de vidrio

 Unidad Operativa  
Minera

Código de la muestra:

hora:

fecha:

Responsable:

Departamento:

Provincia:

Distrito:

Coordenadas UTM:

Norte:

Este:

### MEDICIÓN DE PARAMETROS EN LABORATORIO

**Turbidez (NTU)**
**SST (m/L)**
**Ph**

### REGISTRO DE CONCENTRACIÓN Y DOSIS

N°	CONCENTRACIÓN		DOSIS	
	CaO(mg/L)	Superfloc A-110 (mg/L)	Lechada (ml)	Superfloc A-110
1				
2				
3				
4				

**OBSERVACIONES:**