



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Evaluación de alternativas para el tratamiento primario de sedimentación en la reutilización del agua proveniente del lavado del carbón en los relaves, en la parte alta de la Provincia del El Oro

**MACIAS UREÑA MARIA MILENA
INGENIERA AMBIENTAL**

**HERRERA QUINDE CINTHYA NAYELLI
INGENIERA AMBIENTAL**

**MACHALA
2025**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Evaluación de alternativas para el tratamiento primario de sedimentación en la reutilización del agua proveniente del lavado del carbón en los relaves, en la parte alta de la Provincia del El Oro

**MACIAS UREÑA MARIA MILENA
INGENIERA AMBIENTAL**

**HERRERA QUINDE CINTHYA NAYELLI
INGENIERA AMBIENTAL**

**MACHALA
2025**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJOS EXPERIMENTALES

Evaluación de alternativas para el tratamiento primario de sedimentación en la reutilización del agua proveniente del lavado del carbón en los relaves, en la parte alta de la Provincia del El Oro

**MACIAS UREÑA MARIA MILENA
INGENIERA AMBIENTAL**

**HERRERA QUINDE CINTHYA NAYELLI
INGENIERA AMBIENTAL**

BERRU CABRERA JUAN CARLOS

**MACHALA
2025**



TESIS HERRERA CINTHYA, MACIAS MILENA

< 1%
Textos
sospechosos

0% Similitudes

0% similitudes
entre comillas

0% entre las
fuentes
mencionadas

< 1% Idiomas no
reconocidos

Nombre del documento: TESIS HERRERA CINTHYA, MACIAS
MILENA
ID del documento: db7eb0ddc63031614ba4ee7eaffa9765d121ffd1
Tamaño del documento original: 94,16 kB

Depositante: JUAN CARLOS BERRU CABRERA
Fecha de depósito: 28/7/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 28/7/2025

Número de palabras: 6713
Número de caracteres: 42.579

Ubicación de las similitudes en el documento:

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Las que suscriben, MACIAS UREÑA MARIA MILENA y HERRERA QUINDE CINTHYA NAYELLI, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado Evaluación de alternativas para el tratamiento primario de sedimentación en la reutilización del agua proveniente del lavado del carbón en los relaves, en la parte alta de la Provincia del El Oro, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Las autoras declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Las autoras como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Milena Macias U

MACIAS UREÑA MARIA MILENA

0706162682

Cintya Herrera Q

HERRERA QUINDE CINTHYA NAYELLI

0706234663

DEDICATORIA

En este espacio queremos agradecer de la manera más respetuosa a las personas que han sido parte fundamental durante el desarrollo de nuestra tesis experimental:

“Evaluación de alternativas para el tratamiento primario de sedimentación en la reutilización del agua proveniente del lavado del carbón en los relaves, en la parte alta de la Provincia del El Oro”

Primeramente, al Ing. Juan Carlos Berru nuestro tutor de tesis le agradecemos por su guía y apoyo para poder llevar a cabo nuestro trabajo de investigación. Mediante sus consejos sobre cómo manejar unas de las problemáticas que se presentaban. Por confiar siempre en que todo nos saldría muy bien.

Al Ing. Herbert Maza, cotutor les expresamos nuestro inmenso agradecimiento por brindarnos su guía y conocimientos. Su nivel de experiencia permitió conocer más sobre el tema de nuestra investigación, por siempre estar predispuesta en guiarnos para mejorar, sus consejos fueron de gran aporte para nuestra vida profesional.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme dado la fuerza y la valentía durante toda esta etapa con altas y bajas pude lograr salir adelante. Gracias mi madre Dora Quinde por ser mi consejera cuando quería rendirme por su amor y apoyo cada día. A mi padre Pablo Herrera por sus enseñanzas y su sacrificio cada día por apoyarme y continúe con mis estudios. Gracias infinitamente por guiarme por este camino y no soltarme por su inmenso sacrificio como padres estoy muy orgullosa de tenerlos.

Agradezco a mis hermanos Andrés y Sebastián por ser la razón por cual logré salir adelante para ser su guía, ejempló y enseñanza y se sientan orgullosos, gracias a Sebastián por enseñarme a ser valiente aprendí a nunca rendirme y saber que a pesar de cualquier problema siempre podía salir adelante.

A mi compañera de Tesis Milena por tomar la decisión de poder trabajar juntas en este proyecto que nos enseñó mucho, nos apoyamos y aprendimos a nunca rendirnos nada fue fácil, pero agradezco que gracias a esto no solo terminamos siendo unas compañeras sino unas grandes amigas.

Finalmente agradezco a Dios por haberme enviado a un ser de luz que desde el día uno que me conoció se sintió orgulloso de mi solo puedo decir gracias Paul por tu amor, preocupación y apoyo incondicional en todo momento.

Cinthya Nayelli Herrera Quinde

AGRADECIMIENTO

Con todo mi corazón lleno de gratitud hacia cada una de las personas que me acompañaron en todo este largo camino de altos y bajos, este trabajo es el fruto del esfuerzo de cada día, la fé en mí y de las personas de mi alrededor que creyeron en mí incluso en días que yo ya no podía más.

Primero que nada, agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa tan importante en mi vida, una etapa que me ha permitido crecer como persona, y formarme como profesional, gracias por brindarme la fortaleza, sabiduría y paciencia necesaria en días que me sentía perdida.

También agradezco a mis padres que gracias a su esfuerzo día a día, no me permitieron rendirme a mi madre Gloria Ureña, y mi padre, Manuel Macias, gracias por su cariño y comprensión en toda esta etapa, gracias porque con su ejemplo de trabajo y sacrificio, lograron ser mi mayor fuente de motivación, sin su apoyo diario esto no habría sido posible.

A mi compañera Cinthya Herrera, que me apoyo en mis días en los cuales me sentía sin motivación alguna, gracias por ser una persona importante para el logro de esta meta juntas, sin tu sabiduría esto no podría ser posible.

Gracias Dios por permitirme vivir esto.

María Milena Macias Ureña

RESUMEN

En la presente investigación se presentan diferentes alternativas para el tratamiento primario de sedimentación que busca la reutilización del agua utilizada en el lavado de carbón que termina en los relaves. Este proyecto se realizó en la planta de benéfico que se encuentra ubicada en la parte alta de la provincia de El Oro, Zaruma, en la cual es de pleno conocimiento por el alto nivel de minería que se produce en esta zona, debemos de tener en cuenta que esta actividad necesita de grandes cantidades de agua que al momento de desecharse contienen un alto nivel de sólidos suspendidos, por eso es necesario realizarle un tratamiento previo.

Para esto realizamos diferentes pruebas en laboratorio donde se realizó experimentos con diferentes floculantes (1140, 1145, 1165), en diferente volumen, para poner a prueba su efectividad en los diferentes puntos de muestreo, para esto se tomó en cuenta el tiempo de floculación. En el cual se pudo evidenciar la eficacia del floculante 1165 con un mejor tiempo de presentación, a diferencia, de los demás floculantes que necesitaban de una mayor cantidad de floculante para poder evidenciar su efectividad. También se analizó la disminución de los sólidos totales suspendidos, obteniendo una remoción de hasta un 96%.

Teniendo en cuenta la factibilidad de este procedimiento desde un enfoque técnico y económico, se pudo determinar que es una técnica viable, porque permite la recuperación del agua en un gran porcentaje, minimizando el consumo de agua fresca, reduciendo los sólidos suspendidos del agua, la aplicación de esta clase de tecnología limpia, como la sedimentación de manera asistida, se considera como una de las principales soluciones porque busca la sostenibilidad del recurso hídrico en el ámbito de la minería pequeña a mediana escala.

Palabras claves: Calidad de agua, sedimentación, floculantes, Minería

ABSTRACT

This research presents different alternatives for primary sedimentation treatment, seeking to reuse the water used in coal washing that ends up in tailings. This project was carried out at the beneficiation plant located in the upper part of the province of El Oro, Zaruma, which is well known due to the high level of mining that occurs in this area. We must take into account that this activity requires large quantities of water, which, when disposed of, contain a high level of suspended solids, making pretreatment necessary.

To this end, we conducted various laboratory tests with different flocculants (1140, 1145, 1165), in different volumes, to test their effectiveness at different sampling points. For this purpose, flocculation time was taken into account. The effectiveness of flocculant 1165 was demonstrated, with a faster onset time, unlike other flocculants, which required a larger amount of flocculant to demonstrate their effectiveness. The reduction in total suspended solids was also analyzed, achieving a removal rate of up to 96%.

Considering the feasibility of this procedure from a technical and economic perspective, it was determined to be a viable technique because it allows for a large percentage of water recovery, minimizing freshwater consumption and reducing suspended solids. The application of this type of clean technology, such as assisted sedimentation, is considered one of the main solutions for achieving water resource sustainability in small- to medium-scale mining.

Keywords: Water quality, sedimentation, flocculants, mining

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

As	Arsenico
Cd	Cadmio
Cr	Cromo
Pb	Plomo
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
Ni	Níquel
Fe	Hierro
Co	Cobalto
Ag	Plata
RAAM	Reglamento Ambiental de Actividades Mineras

Contenido

I. INTRODUCCIÓN	11
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
III. JUSTIFICACIÓN.....	15
IV. OBJETIVOS	16
a. Objetivo General	16
b. Objetivos Específicos	16
V. HIPOTESIS.....	17
VI. MARCO TEÓRICO.....	18
A. Minería	18
1. Minería subterránea	18
B. Planta de beneficio	19
1. Relaves	19
2. Relaves de carbón.....	19
5. Escombreras	21
C. Aguas residuales.....	21
1. Polímeros.....	21
D. Tratamiento de aguas residuales en Minería.....	22
1. Tratamiento primario.....	22
2. Sedimentación	23
3. Floculación -Coagulación.....	23
4. Clarificación.....	24
5. Método de Wilcomb	25
6. Beneficios de la reutilización de agua en minería.....	25
D. Marco legal.....	26
1) Constitución de la República del Ecuador.....	26
2) Ley Minera.....	26
3) Reglamento Ambiental de Actividades Mineras, Ministerio del Ambiente.....	26
VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
A. Ubicación de estudio	27
B. Recolección de las muestras de agua residual	28
C. Caracterización de la muestra	29
D. Tipo de investigación	29
E. Diseño de la investigación.....	29
F. Proceso metodológico	30

1. Preparación de las muestras	30
2. Elaboración de coagulantes	30
3. Aplicación de coagulantes	30
G. Instrumentos de recolección de datos	31
H. Técnicas de recolección de datos.....	31
I. Diagrama de flujo del proceso.....	32
VIII. RESULTADOS	33
A. Resultados de Sedimentación con floculante	33
B. Resultados de Análisis de agua con floculante – Muestra Flotación	36
C. Resultados de Análisis de agua con floculante – Muestra lixiviación	39
D. Resultados de precipitación con floculante – Muestra Flotación	43
E. Resultados de Análisis del agua sedimentada con floculante	46
IX.DISCUSIÓN	47
X. CONCLUSIÓN	49
XI. RECOMENDACIÓN.....	50
REFERENCIAS.....	51

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Índice de Wilcomb.....	25
Tabla II. Resultados de la primera prueba con floculante 1140.....	33
Tabla III. .Resultados de la segunda prueba con floculante 1165.....	33
Tabla IV.Resultados de la tercera prueba con floculante 1145.....	33
Tabla V.Resultados de la primera prueba con floculante 1140.....	34
Tabla VI.Resultados de la segunda prueba con floculante 1165.....	34
Tabla VII.Resultados de la tercera prueba con floculante 1145.....	34
Tabla VIII.Resultados de la primera prueba con floculante 1140.....	35
Tabla IX.Resultados de la segunda prueba con floculante 1165.....	35
Tabla X. Resultados de la segunda prueba con floculante 1145.....	35
<i>Tabla XI. Tiempo y volumen de floculación -Muestra 1 Flotación.....</i>	<i>36</i>
Tabla XII. Tiempo y volumen de floculación- Muestra 2.....	37
<i>Tabla XIII. Tiempo y volumen de floculación - Muestra 3</i>	<i>38</i>
<i>Tabla XIV. Tiempo y volumen de floculación -Muestra 1 Lixiviación</i>	<i>39</i>
<i>Tabla XV. Tiempo y volumen de floculación - Muestra 2</i>	<i>40</i>
<i>Tabla XVI. Tiempo y volumen de floculación- Muestra 3</i>	<i>41</i>
<i>Tabla XVII. Tiempo y volumen de floculación -Muestra 1 Cosecha.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla XVIII. Tiempo de precipitación y volumen de polímeros -Muestra Flotación</i>	<i>43</i>
<i>Tabla XIX. Tiempo de precipitación y volumen de polímeros- Muestra Lixiviación</i>	<i>44</i>
<i>Tabla XX. Tiempo de precipitación y volumen de polímeros- Muestra Cosecha.....</i>	<i>45</i>
Tabla XXI.Resultados del análisis de agua con floculante	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del proceso de clarificación	24
Figura 2. Mapa de ubicación	27
Figura 3. Mapa de puntos de muestreo	28
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso del tratamiento de sedimentación mediante la aplicación de floculantes	32
Figura 5. Comparación volumen vs tiempo sedimentación con floculante 1140- Flotación.....	36
Figura 6. Comparación volumen vs tiempo sedimentación con floculante 1165	37
Figura 7. Comparación volumen vs tiempo sedimentación con floculante 1140	38
Figura 8. Comparación volumen vs tiempo sedimentación con floculante 1140- Lixiviación ...	39
Figura 9. Comparación volumen vs tiempo sedimentación con floculante 1165	40
Figura 10. Comparación volumen vs tiempo sedimentación con floculante 1140	41
Figura 11. Comparación volumen vs tiempo sedimentación con floculante 1140-1145-1165 - Cosecha	42

I. INTRODUCCIÓN

Las actividades mineras generan gran cantidad de metales y minerales que, son claves para la economía. El recurso agua es una fuente principal en esta actividad, ya que permite realizar una serie de actividades como procesos de extracción de los minerales, lavado del carbón, entre otros procesos. No obstante, el uso del agua en la minería puede tener un impacto representativo y perjudicial. La gran mayoría de minas aplican la reutilización del agua, sin embargo, se presentan algunos obstáculos tanto técnicos como económicos, para emplear de manera integral la reutilización del agua [1].

Existe una gran preocupación por la sostenibilidad ambiental en la industria minera, lo cual ha llevado a la necesidad de adoptar tecnologías eficientes para lograr el manejo adecuado de aguas residuales y la reutilización del recurso hídrico [2]. Es importante conocer que el tratamiento de las aguas residuales generadas por el lavado del carbón, se ha convertido en una prioridad de estudio a nivel mundial [3]

Esta necesidad se intensifica, específicamente en la parte alta de la provincia de El Oro, se conoce que enfrenta grandes desafíos en la gestión de aguas residuales proveniente del lavado del carbón[4]. Estas aguas contienen sólidos suspendidos, metales pesados y otros contaminantes que si no son tratadas a tiempo y adecuadamente, pueden llegar afectar negativamente al medio ambiente y la salud [5]. Durante la producción del lavado de carbón, es importante conocer que se utiliza agua para la molienda lo que genera subproductos de grano fino llamados relaves que frecuentemente se almacenan en instalaciones denominados relaves en forma de lodo [6].

Lograr la implementación de sistemas de tratamiento adecuados no solo aporta a la sostenibilidad ambiental, esto permite ofrecer beneficios económicos como disminuir los costos asociados con la gestión de aguas residuales[7]. Es importante evaluar y determinar las alternativas más factibles para el tratamiento primario de sedimentación, el cual se debe tomar en cuenta las características del agua residual generada en el lavado de carbón [7].

En los últimos años se ha logrado implementar tecnologías complementarias que aportan la efectividad del tratamiento primario de sedimentación. Se conoce que la coagulación y floculación, son aquellos que implican la adición de productos químicos para de esta manera lograr la acumulación de las partículas finas en flóculos más grandes, para mejorar la tasa de sedimentación [8].

La investigación contribuirá a evaluar de manera integral las alternativas de tratamiento primario de sedimentación para las aguas residuales generadas en el lavado del carbón, evaluando su efectividad y así contribuir a una gestión y manejo adecuado del recurso hídrico en la actividad minera.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Antecedentes

La actividad minera genera grandes efectos en el ambiente que estos pueden ser a nivel, global, o regional. Como es de conocimiento estos procesos que se realizan en la extracción de los minerales se necesita de grandes cantidades de agua, por lo que el agua que se obtiene como resultado de los procesos, no contiene un compuesto ordinario, presentan en su mayoría poseen altas concentraciones de Fe, Cn, y otros metales o alteran el pH del agua, (alcalino o acidez) [9].

Estos metales son peligrosos para el desarrollo de la vida humana, por la afectación a la salud que causa, mediante el agua potable, esto se debe por el proceso que sufre las rocas (erosión) y los procesos mineros que dan como resultado un alto nivel de metales pesados en las aguas subterráneas [10].

Uno de los problemas que se presenta en los países subdesarrollados es la falta de recursos para que se puedan desarrollar las pruebas necesarias en laboratorio y una buena gestión del agua, una escasez de infraestructura estaría impidiendo el monitoreo adecuado de los contaminantes químicos presentes en el agua permitiendo que estos pasen de desapercibidos, trayendo grandes consecuencias a la salud de las personas [11].

Esta clase de contaminación por metales pesados también afecta a los diferentes ecosistemas (acuático y terrestre), teniendo como resultado, enfermedades y la interrupción del desarrollo natural de las especies, logrando que estas migren, algunos metales pesados que podemos encontrar en el agua por la actividad minera, es el Cr (VI), Cd (II), Pb (II), As(V y III), Hg (II), Ni (II), Cu (II), y diversos metales que logran afectar a la salud del ser humano al ser acumulados en la cadena trófica, causando efectos, como problema de gastritis, insuficiencia hepática, renal, falla en la memoria, y cáncer, por eso es necesario saber la calidad del agua [12].

El carbón es utilizado como un tipo de combustible fósil, de muy fácil acceso para el área de energía, pero no se toma en cuenta las consecuencias que este trae, las grandes cantidades de agua que son utilizadas para el lavado, y los metales que libera, As , Cd, Cr y Pb que su liberación con agua provoca una contaminación [12].

Las aguas residuales generadas en este proceso del lavado del carbón presentan un gran problema ambiental, porque no solo afecta a las aguas superficiales, sino también a las

subterráneas mediante el proceso de infiltración que se genera, en las relaveras, el agua que sale de este proceso, lleva consigo metales y solidos suspendidos que afectan a la salud y al medio ambiente como enfermedades ya antes mencionadas, sin dejar a un lado la afectación que le causa al suelo.[13]

III. JUSTIFICACIÓN

El gran avance de la actividad minera, principalmente en las regiones de mayor capacidad extractiva como es el caso de la parte alta de la provincia de El Oro, ha proporcionado un nivel alto de retos ambientales y sociales sobre el correcto manejo sostenible de los recursos hídricos[1]. Las actividades mineras producen grandes volúmenes de agua residual, en las que contienen altos niveles de sólidos suspendidos, metales pesados y otros contaminantes, que necesitan de tratamientos adecuados para lograr minimizar el impacto ambiental y maximizar la reutilización de agua[1] .

Estudios recientes han demostrado que el uso de tecnologías como espesadores y clarificadores de alta eficiencia pueden alcanzar una recuperación de hasta el 90% del agua utilizada en las actividades mineras, reduciendo significativamente la generación de relaves líquidos[14]. Evaluar alternativas para el tratamiento primario de sedimentación es fundamental no solo desde el punto de vista técnico, sino también para garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales locales e internacionales que regulan las descargas de aguas residuales en cuerpos de agua receptores [14].

Es por eso que la investigación se enfoca en la alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) específicamente el objetivo 6, la cual nos indica que se encarga de garantizar una correcta gestión sostenible del agua. Se conoce que a nivel internacional algunas investigaciones indican que la aplicación del tratamiento de sedimentación logran reducir de un 50% y un 90% los sólidos suspendidos en el agua, tomando en cuenta las características del efluente y de que parte de la operación minera es proveniente [14].

Según la Ley Minera en el Art.79 referente al tratamiento de aguas nos indica que es obligatorio que los concesionarios mineros apliquen la reutilización del agua mediante sistemas de recirculación. Mientras que el Reglamento Ambiental Minero (RAAM) en el Art. 84 menciona que las aguas utilizadas en las plantas de beneficio, deberán aplicar técnicas o procedimientos para la optimización del uso de agua basados en la reducción de uso, recirculación y/o tratamiento [15] [16].

IV. OBJETIVOS

a. Objetivo General

- Evaluar la factibilidad del tratamiento primario de sedimentación en la reutilización del agua proveniente del lavado del carbón en los relaves generados por la actividad minera ubicada en la zona alta de la provincia de El Oro, aportando con la sostenibilidad y al manejo eficiente de recursos hídricos.

b. Objetivos Específicos

- Determinar las alternativas más efectivas de floculación en el tratamiento primario de sedimentación del agua residual proveniente del lavado del carbón.
- Analizar el comportamiento en las diferentes muestras de agua con floculantes, mediante el análisis del tiempo de sedimentación, tiempo de clarificación, y porcentaje de sólidos suspendidos.
- Comparar la efectividad de las alternativas del tratamiento primario de sedimentación, tomando en cuenta los criterios de eficiencia y viabilidad económica, con el propósito de identificar la opción más adecuada para la reutilización.

V. HIPOTESIS

La implementación del tratamiento de sedimentación logrará reducir los sólidos suspendidos en el agua producida por el lavado del carbón en un 60%-70%, lo que permitirá la reutilización del recurso hídrico.

VI. MARCO TEÓRICO

A. Minería

La actividad minera permite la obtención de metales y minerales a nivel mundial, esta actividad se clasifica en dos artesanal, pequeña escala. Esta actividad se ha generado de manera ilegal por los beneficios que se obtiene a nivel económico como empresa, pero, que trae consigo diversas afectaciones al medio ambiente, al clima, y al nivel económico de la población en la que se realiza esta actividad, porque cuando se realizan los procesos de extracción del mineral generan la liberación de algunos metales que terminan siendo tóxicos para la salud humana y ambiental [17].

Zaruma, es la uno de los cantones principales del Ecuador donde se genera esta actividad de extracción, el cual ha traído varios conflictos entre la población, empresas internacionales, autoridades, de los cuales exigían la tenencia de tierra, de ahí se formó la OIT para que vele por los derechos de las personas que habitan en las áreas en la que se quiere realizar este proceso de extracción [17].

1. Minería subterránea

Es una técnica que permite la extracción de los minerales que se encuentran debajo de la superficie terrestre, se realiza a través de la construcción de denominados túneles o galerías de manera verticales u horizontales. Esta clase de minería se emplea en su fundamentalmente cuando existen cuerpos de minerales ubicados en las profundidades, donde en este caso la minería a cielo abierto no es recomendada ya que nos es económicamente viable[18].

Sobre su impacto ambiental este tipo de minería ha provocado un alto nivel de contaminación de fuentes hídricas debido a su lixiviación de metales pesados y drenaje ácido de mina. Zaruma presenta afectaciones por la actividad minera lo que evidencia que se debe aplicar de manera rápida una gestión de dicha actividad de manera responsable, aplicando la normativa ambiental de manera estricta, contar con la participación ciudadana con el fin de poder integrar el desarrollo económico y la protección ambiental.[18].

B. Planta de beneficio

Una planta de beneficio está destinada para el procesamiento de los minerales que son extraídos, con el propósito de lograr separar, concentrar y adquirir los metales o materiales de valor económico encontrados en el mineral bruto. Esta operación cumple con una serie de fases que incluyen la trituración, molienda, clasificación, concentración, flotación, lixiviación, fundición o refinación según el tipo de material y del método extractivo implementado [18].

Es importante conocer que las plantas de beneficio son esenciales para mejorar el aprovechamiento del recuso, y de esta manera maximizar la recuperación de metales y la reducción de los desechos generados por dicha actividad, con el propósito también de reducir los impactos ambientales mediante la implementación de tecnologías limpias y sistemas de gestión ambiental. En Ecuador este tipo de operaciones de plantas de beneficio están reguladas por normativas específicas en el cual deben cumplir con requisitos técnicos, ambientales y de seguridad [18].

1. Relaves

Es la acumulación de todos metales, semimetales que se generan en los diferentes procesos de extracción en la minería, de los cuales permanecen sin ningún tipo de vegetación, por su falta de minerales en el suelo, por su nivel de toxicidad que se vuelven [19].

Existen varios procesos para mitigar la afectación de los relaves, como es la Fito estabilización del cual se trata de la combinación de dos procesos: Tratamiento químico, y la incorporación de materiales orgánicos e inorgánicos al suelo, del cual se obtiene como resultado el *Tecnosol*, combinado con la siembra de algunas especies [19].

2. Relaves de carbón

Las relaveras es la acumulación de todos los residuos generados para la extracción del carbón, esto se puede originar por los diferentes tipo de explotación minera: cielo abierto, subterráneas, que esto solo es el 10% del cual el 90% solo se genera con el lavado de carbón, estos relaves abarcan los minerales que llegan a afectar al medio ambiente por la cantidad de minerales que salen en el proceso de lavado, de los cuales son acumulados en la intemperie, por diferentes perdidos de tiempo, generando así un proceso natural llamado meteorización [20].

3. Relaves de Flotación

Se denominan relaves de flotación ya que es el residuo del proceso de flotación, este sirve para lograr separar los minerales con valor económico. Estos desechos están compuestos por partículas finas específicamente de roca molida, agua y residuos de reactivos químicos que son utilizados en la flotación, como xantatos y espumantes. Se presenta en lodo o también conocido como pulpa y esto es depositado en los denominados relaveras. Se conoce que esto ya, aunque ya no contiene minerales que son recuperables, posee altos niveles de metales pesados y compuestos tóxicos causando un posible riesgo ambiental [21].

Es importante conocer que este tipo de relaveras debe mantener un manejo adecuado, ya que si este presenta un inadecuado manejo puede llegar a generar la contaminación de aguas superficiales- subterráneas y suelos. Por tanto, esto es considerado un pasivo ambiental que debe contar con un plan de gestión específico, un constante monitoreo y correcto tratamiento de estos residuos [21].

4. Relaves de lixiviación

Este tipo de relave se conoce que es el sobre producto del tratamiento químico que se maneja con los minerales para recuperar los metales. Este residuo solido se encuentra compuesto por minerales sin valor económico y restos de reactivos lixiviantes. Según investigaciones reconocen que estos pueden contener trazas de cianuro, metales pesados o sulfatos. Al igual que los relaves de flotación se generan grandes volúmenes lo que representa un riesgo ambiental que se debe tomar en cuenta. Generalmente estos son depositados en pilas o también presas de relaves siguiendo las debidas medidas de seguridad. La densidad es menos densa que el relave de flotación, pero cuenta con un nivel más toxico por los químicos usados [21].

Este tipo de residuo es clasificado como peligroso debido a alto nivel de sustancias como el cianuro libre. Se reconoce que la normativa ambiental vigente indica la aplicación de sistemas de impermeabilización y tratamiento de efluentes [21].

5. Escombreras

Es la acumulación de los residuos que se generan en la actividad minera, tras el proceso de extracción y obtención del carbón, son un reto ambiental, por su contenido de minerales como: pirita entre otros, de los cuales se obtienen por el proceso de lavado, estos al estar ubicados al aire libre, generan el proceso de meteorización, que se realiza de forma natural de los cuales son: lavado por agua, combustión espontánea, por la volatilidad que presentan estos materiales combinada con la materia orgánica, obteniendo gases tóxicos [20]. Algunos de los factores que influyen con este suceso, es la composición que tiene el mineral, la materia orgánica con la que se mezcle, si cuenta con una unión con el agua, y el tiempo que se encuentren acumulados, agravando más el impacto, la pirita es un mineral que puede afectar de manera muy significativa al agua y al suelo cercano, porque esta puede causar los drenajes ácidos, al ser mezclado con agua y oxígeno [20].

C. Aguas residuales

Las aguas residuales originadas en la minería contienen abundantes minerales, en la extracción de oro, las aguas residuales contienen los agregados metálicos, que se originan cuando el CN libre se combina con los otros metales como: Ni, Fe, Co, Au, Ag, etc. De los cuales son difíciles de eliminar de forma natural, obteniendo la contaminación de ríos, lagos y agua subterránea, el proceso de la fotólisis solar, libera el cianuro libre, el cual es muy perjudicial para los ecosistemas.[22].

1. Polímeros

En la minería es común utilizar polímeros porque estos permiten la unión de los sólidos suspendidos del agua presentados en los relaves, en estos casos es común utilizar los floculantes poliméricos obteniendo como resultando flóculos más grandes. Es decir, que acelera el proceso de sedimentación de los sólidos suspendidos presentes en el agua, haciendo más fácil el proceso de separación de los sólidos y líquidos [23].

Estos operan de diferentes maneras como: el puenteo, neutralización de cargas, parcheo electrostático, estos pueden ser de tipo no iónico, catiónico, o aniónico [23].

En minería las poliacrilamidas aniónicas de alto peso molecular son generalmente las más usadas porque permiten acelerar el proceso de sedimentación rápida y económica, aunque es de tener en cuenta el tipo de relave al que se lo aplica [23].

D. Tratamiento de aguas residuales en Minería

Existen varios tratamientos para el agua residual minera: precipitación química, intercambio iónico, filtración de membrana (electrodialisis, osmosis inversa, nanofiltración, ultrafiltración), electrocoagulación, coagulación- floculación, entre otros, estos tratamientos suelen ser muy efectivos pero, para el momento de ejecución son costosos, por ejemplo la generación de lodos, que implica la aplicación de químicos, una planta especializada, lo cual las hace menos factible para su empleo, en países que estén en busca de desarrollo, o hasta para la empresa mismo, porque le saldría muy caro la implementaciones estos tratamientos. Por otro lado, uno de los tratamientos económicos y fácil de ejecutar, son los que llevan materia orgánica, uno de los países que han optado por los tratamientos biorremediadores son, Asia, África, Europa, pero para la parte de América latina se ha implementado muy poco, obteniendo varios ecosistemas contaminados, por la falta de conocimiento, afectando a la agricultura de los países, por la utilización de esta agua contaminada para el riego [24].

1. Tratamiento primario

El tratamiento primario en las aguas residuales se encarga de realizar el proceso de eliminación de sólidos suspendidos y otros materiales que existan, mediante procesos físicos como es la sedimentación [3].

Su principal objetivo es encargarse de poder reducir la carga contaminante para posteriores etapas. Se conoce que este proceso logra reducir aproximadamente un 50% y 70% de los sólidos suspendidos y un 20% y 40% de materia orgánica biodegradable. Sin embargo el tratamiento primario no cumple con eliminar los contaminantes ni organismos presentes, por tanto se aplican tratamientos secundarios y terciarios que se encargan de la eliminación de los contaminantes [3].

Actualmente se han desarrollado una serie de mejoras para lograr la optimización de esta etapa como la aplicación de tecnologías avanzadas, el uso de coagulantes y floculantes permitiendo la remoción de partículas finas. Además se promueve recuperar la energía de los lodos mediante la aplicación de algunos procesos en este caso la digestión anaeróbica este es un proceso biológico que consiste en la descomposición de la materia orgánica por microorganismos [25].

Este tratamiento se destaca también porque representa una opción económica y eficaz que permitirá realizar procesos secundarios al agua logrando la reutilización en una serie de actividades específicas. El uso en contextos como es el lavado del carbón permitirá la recuperación del agua en un determinado porcentaje con menores y así minimizar un impacto ambiental [25].

2. Sedimentación

La sedimentación es un proceso principal en el tratamiento de aguas residuales, este se encarga de la separación de partículas sólidas que se encuentran en el agua. Es un método que permite que las partículas de mayor densidad que el agua se asienten en los denominados tanques de sedimentación, permitiendo mejorar la calidad del agua [26].

Para realizar el proceso de sedimentación, se plantean estructuras específicamente diseñadas para que este sea eficiente, como son los tanques de sedimentación o clarificadores. Se destaca que el tiempo de retención y las condiciones del flujo son factores importantes que permiten identificar la eficacia de este proceso [26].

Para mayor efectividad es usual el uso de agentes químicos, como coagulante y floculantes, permitiendo que la unión de partículas pequeñas en flóculos de mayor tamaño. Estos aditivos son útiles principalmente en aguas residuales industriales, donde se encuentran los contaminantes se encuentran más dispersos y son más complicados de separar [26].

Además de ser un proceso importante en el tratamiento de las aguas residuales, la sedimentación cumple con el papel en la recuperación de recursos, la reutilización del agua y la protección de los ecosistemas. En el proceso del lavado del carbón esta técnica ayuda a recuperar el agua con menor cantidad de sólidos, promoviendo una gestión más sostenible y permitiendo el desarrollo de estrategias para el manejo del agua [1]

3. Floculación -Coagulación

Son procesos esenciales para el tratamiento de las aguas residuales, específicamente diseñados para cumplir con la función de remover partículas suspendidas y material coloidal que no logran sedimentarse de manera natural. Por otro lado para realizar el proceso de coagulación generalmente se utilizan una serie de productos químicos como el cal, cloruro férrico, sulfato ferroso y alumbre [3].

Es importante conocer que para determinar el mejor coagulante deben cumplir con algunos criterios: el curso de sedimentación del precipitado y el nivel de remoción de metales. Los factores claves para tomar en cuenta la técnica es aplicar la dosis química apropiada, el efecto energético y el tiempo de la mezcla [3].

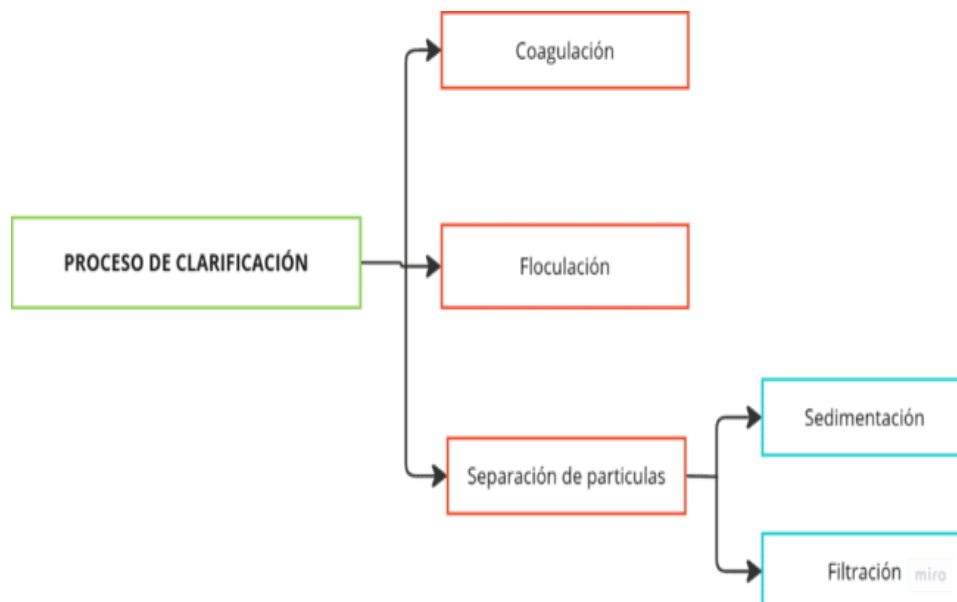
Se conoce que este método es muy utilizado en los Estados Unidos de América, al no necesitar de un equipo desarrollado a nivel tecnológico, y los reactivos que son utilizados para este proceso mantienen costos bajos y de fácil acceso [3]

4. Clarificación

La clarificación es un proceso que permite eliminar solidos suspendidos como residuos de lodos, minerales en suspensión que se encuentren en el agua, en el caso de la minería es utilizado para el agua que se usa para las diferentes operaciones, para lograr que este proceso sea más óptimo se agrega productos químicos como floculantes. Este método en la minería permite reutilizar el agua, reducir el nivel de contaminación protegiendo así el recurso hídrico y optimizar los costos operativos.

El proceso de clarificación cuenta con las siguientes etapas:

Figura 1.Etapas del proceso de clarificación



Fuente: Elaboración propia

5. Método de Wilcomb

Este método nos permite analizar la formación de los flóculos mediante la sedimentación en cual tiene una escala de 0- 10 donde el 0 señala los gránulos de sedimentación más dispersos y el 10 el más compacto, permitiéndonos así la clarificación del agua que es utilizada en el lavado de carbón y otras operaciones de la minería [27]

Tabla I. Índice de Wilcomb

Nº	Descripción
0	No se observan flóculos
2	Se observan flóculos poco visibles
4	Se observan flóculos dispersos y muy finos
6	Se observan flóculos tamaño moderado y visibles
8	Flóculos medianamente formados, pero no sedimentados en su totalidad.
10	Flóculos formados en su totalidad, logrando la clarificación del agua

Fuente: Elaboración propia

6. Beneficios de la reutilización de agua en minería

Es importante conocer que la reutilización del agua es un punto clave para promover la sostenibilidad en esta industria, donde el uso del recurso hídrico es fundamental para una serie de operaciones. Este proceso permite minimizar la extracción del agua en fuentes naturales, logrando una gestión positiva y asegurando la disponibilidad de agua para otras actividades y comunidades cercanas [1].

Una de las ventajas principales al aplicar la reutilización de agua es disminuir los costos operativos, ya que al adoptar sistemas de recirculación de agua tratada se reduce la necesidad de captar agua de otros puntos, lo que permite reducir una serie de gastos asociados a extracción, transporte y tratamiento. Contribuye a proteger los ecosistemas acuáticos y cumplir con las normativas ambientales, que permitirán el mejoramiento de la relación en la minería con comunidades cercanas que pueden ser afectadas, promoviendo una imagen más responsable [1].

D. Marco legal

1) Constitución de la República del Ecuador

El Art 14 se contempla el derecho que tiene la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay* [28].

El capítulo VII el Art 71 el derecho a la naturaleza, que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales; en los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas[28].

2) Ley Minera

En el Título IV y Capítulo II indica el Art. 79 los titulares de derechos mineros y mineros artesanales que, previa autorización de la autoridad única del agua, utilicen aguas para sus trabajos y procesos, deben devolverlas al cauce original del río o a la cuenca del lago o laguna de donde fueron tomadas, libres de contaminación o cumpliendo los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental y del agua vigentes, con el fin que no se afecte a los derechos de las personas y de la naturaleza reconocidos constitucionalmente [15].

El tratamiento a darse a las aguas para garantizar su calidad y la observancia de los parámetros de calidad ambiental correspondientes, deberá preverse en el respectivo sistema de manejo ambiental, con observancia de lo previsto en las leyes pertinentes y sus reglamentos. La reutilización del agua, a través de sistemas de recirculación es una obligación permanente de los concesionarios[15].

3) Reglamento Ambiental de Actividades Mineras, Ministerio del Ambiente

En el capítulo VI se exponen en los Art. 84 sobre la gestión del agua, que tienen correlación en el ámbito de la minería con respecto a las plantas de procesadoras de mineral aurífero en la reducción de su uso, recirculación del agua y/o tratamiento [16].

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Ubicación de estudio

La presente investigación se realizó en la parte alta de la provincia de El Oro, Zaruma, en la Empresa Minera situado (-3.670427, -79.623645). Es una zona reconocida por su alto nivel de minería, se destaca principalmente por ser la única en esa zona en aplicar el sistema de recirculación beneficiando al medio ambiente.

Las condiciones climáticas presentan temperaturas entre 16 y 20 °C, con un clima templado húmedo y precipitaciones anuales de entre 1000 y 1500 mm.

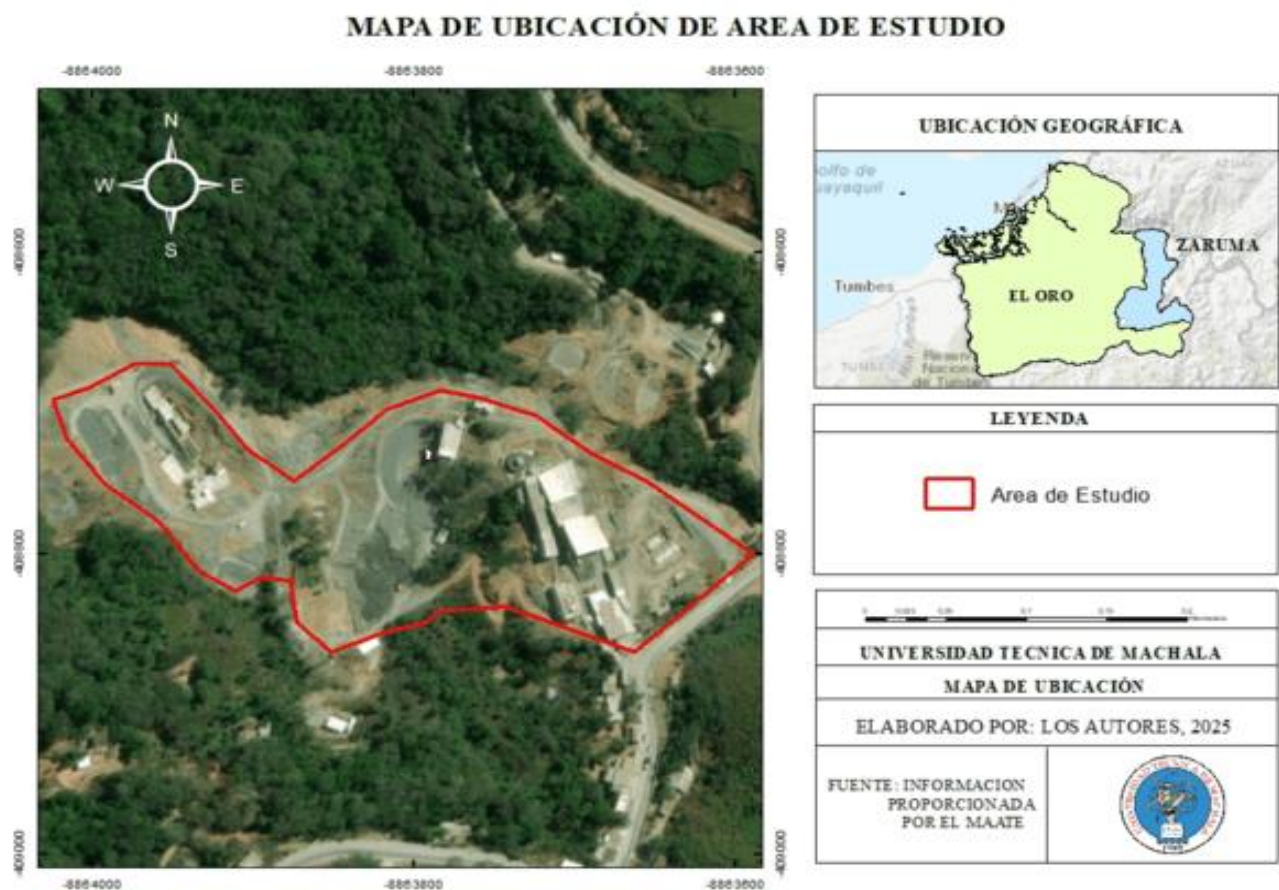


Figura 2. Mapa de ubicación

B. Recolección de las muestras de agua residual



Figura 3. Mapa de puntos de muestreo

Punto muestreo 1:

Relave de Flotación. Material sólido y líquido que queda como residuo después del proceso de la obtención del mineral, esta técnica es utilizada comúnmente para separar el mineral de la ganga, se implementan reactivos como el concentrado de bulk, en el cual se pueden observar espumas.

Punto muestreo 2:

Relave de Cianuración o lixiviación. Residuo sólido y líquido de la obtención del proceso de lixiviación con cianuro utilizado para la recuperación de oro y plata, en este proceso se aplica soluciones cianuradas que ayudan a diluir los metales

Punto muestreo 3:

Cosecha: Se utiliza gran cantidad de agua en el lavado de carbón que esta agua termina con sólidos suspendidos como son partículas de carbón, piedra y otros materiales.

C. Caracterización de la muestra

Se realizó la caracterización de las muestras que, esto nos permitió conocer cuáles eran las propiedades iniciales del agua residual de los diferentes puntos de muestreo. Se tomó en cuenta una serie de parámetros como densidad de las etapas de entrada y salida, el pH, la gravedad específica y el porcentaje de sólidos suspendidos ya de manera general. Los datos obtenidos nos permitieron verificar la carga de material particulado antes y después del tratamiento lo que es de gran importancia para evaluar el nivel de eficiencia de los polímeros.

D. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se utiliza es de dos tipos la aplicada y experimental, para poder lograr con los objetivos de buscar y evaluar alternativas que hagan más efectivo el proceso de sedimentación de los sólidos suspendidos del agua que es utilizada en el lavado del carbón, haciendo efectivo el proceso de la reutilización de esta agua. De igual manera, esto permitió combinar varios métodos científicos: método cualitativo y cuantitativo.

E. Diseño de la investigación

La investigación se realizó mediante un enfoque cuantitativo y cualitativo y de tipo experimental, se analizaron alternativas de tratamiento primario de sedimentación esto a través de la implementación de practica de ensayos de laboratorio.

Este diseño metodológico se aplicó con el fin de lograr analizar el nivel de eficiencia de los métodos de sedimentación para la remoción de solidos suspendidos del agua residual proveniente del lavado del carbón, y también realizar las pruebas en muestras de otros puntos para realizar su respectiva comparación.

La obtención de datos se realizó mediante la toma de muestras de agua residual proveniente del lavado de carbón, y otros puntos estratégicos dentro de la zona de estudio, las muestras receptadas fueron intervenidas a tratamientos que consta de la aplicación de diferentes floculantes, permitiendo identificar cual es la opción más eficiente y viable para la reutilización del agua, valorando también criterios ambientales y económicos.

F. Proceso metodológico

1. Preparación de las muestras

Las muestras receptadas en los 3 puntos estratégicos se basaron en la toma de 20 litros de agua en cada punto, posteriormente se mezcla de manera rápida y se toma 5 litros de cada punto para su proceso en laboratorio. Es importante conocer que el agua capturada en estos puntos nos sirvió para realizar pruebas de jarras con los floculantes que fueron previamente elaborados.

De la misma manera esto nos permitirá caracterizar el fluido, tomando en cuenta el porcentaje de sólidos, el tipo de mineral, pH, densidad aparente y finalmente la ubicación de donde se tomó la muestra.

2. Elaboración de coagulantes

Procedimiento:

Para la preparación de los coagulantes se pesó 1gr de polímero y después paso a disolverse con 1000ml de agua a temperatura ambiente. Esta disolución paso por un proceso de agitación mecánica continua mediante un homogeneizador, durante 30 minutos, esto se llevó a cabo para que se pueda asegurar una dispersión del polímero de una manera homogénea, evitando la formación de grumos

Concluida la etapa de agitación, se pudo obtener una solución acuosa de forma homogénea del coagulante, la cual fue envasado a un recipiente limpio y seco con su debida etiqueta, para poder identificar con cual polímero se trabajará en este estudio se realizaron con el 1145, 1140, 1165, se repitió el mismo procedimiento para cada uno de los polímeros.

3. Aplicación de coagulantes

1. Se realizó la respectiva visita de campo donde procedimos a recolecta la muestra de agua utilizada en el proceso del lavado del carbón.
2. Se obtuvieron 20 litros de muestra de agua de los 3 puntos de muestreo.
3. De las muestras obtenidas se procedió a tomar 5 litros de cada una para realizar el respectivo procedimiento en laboratorio
4. Se aplicó la prueba de jarras para determinar la efectividad de sedimentación de los diferentes tipos de floculantes.

5. En este proceso se inició con 1.5 ml de floculante hasta 3ml, de la misma manera se procedió a la agitación durante 15 segundos de manera rápida con una varilla de metal y posterior de manera lenta durante 45 segundos, con el método de observación de manera cronometrada para finalmente verificar que se separó el agua de la parte sedimentada.

G. Instrumentos de recolección de datos

- Envase de plástico de 20 ltrs
- Cronometro
- Tubo de ensayo
- Jeringas
- Vasos de precipitación de 80ml
- Pipeta Microlit
- Fichas de registros
- Balanza Marcy

H. Técnicas de recolección de datos

Se implementaron las técnicas de recolección de datos con el método de Wilcomb, que nos permite darle valor de efectividad al coagulante (2: 4: 6: 8: 10), y de forma cualitativa aplicamos las pruebas de jarra, para la caracterización del agua obtenida de la relavera espesador, se aplicó una fórmula para poder identificar el porcentaje de sólidos.

La fórmula a utilizar es la siguiente:

$$\%Solidos = \left(\frac{\phi_{pulpa} - 1}{\delta_{especifica\ mineral} - 1} \right) \times \frac{\delta_{Aparente} \times \delta_{especifica\ mineral}}{\phi_{pulpa}}$$

Donde:

ϕ_{pulpa} = densidad de pulpa

$\delta_{especifica\ mineral}$ = gravedad especifica del mineral

$\delta_{Aparente}$ = gravedad aparente

I. Diagrama de flujo del proceso

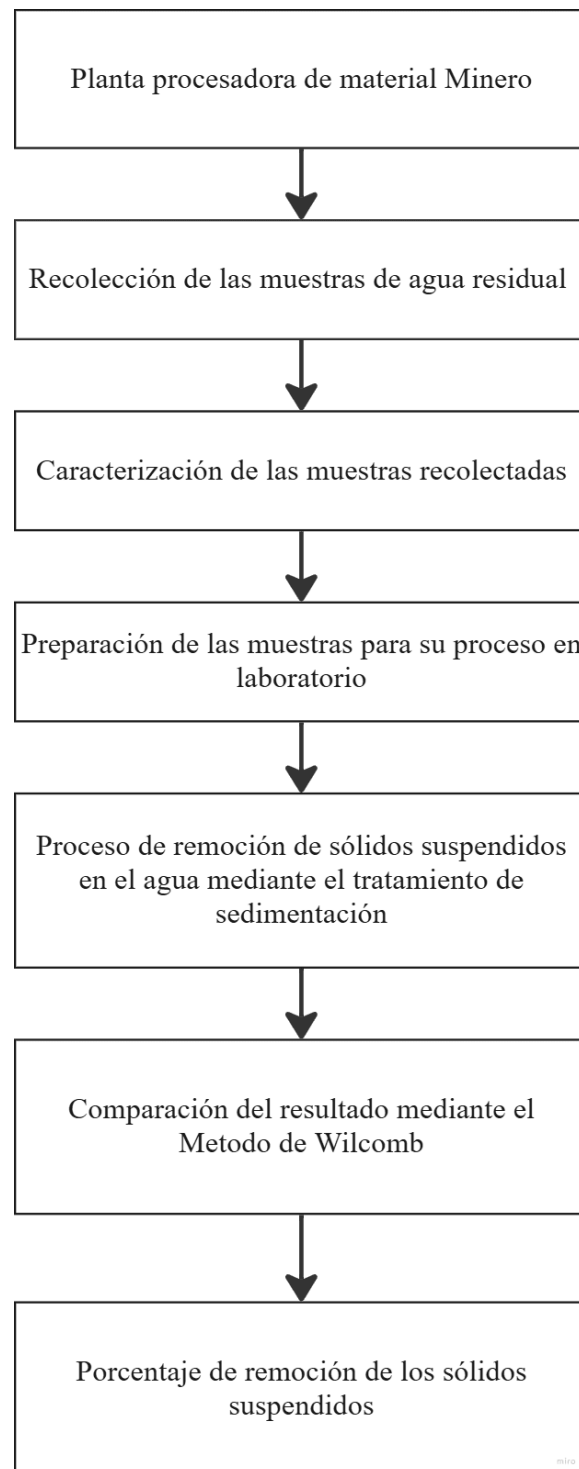


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso del tratamiento de sedimentación mediante la aplicación de floculantes

VIII. RESULTADOS

A. Resultados de Sedimentación con floculante

Se presentan los resultados para mostrar la eficiencia de la aplicación de los floculantes 1140, 1165 y 1145 con el objetivo de demostrar cual es la mejor alternativa lo que nos permitirá reducir costos y también impactos ambientales ya que existirá una recirculación del agua.

Según los resultados se observa que al aplicar el floculante en los tres tipos de muestras lixiviación, floculación y cosecha 1145 el nivel de sedimentación es más rápido ya que el agua que será utilizada para fines del lavado del material.

Tabla II. Resultados de la primera prueba con floculante 1140

GLORIA DE DIOS FLOTACIÓN			
Prueba 1- Floculante 1140			
Tiempo de sedimentación con el floculante			
Nº	Volumen	Tiempo (sg)	Agua
1	1.5ml	60 sg	oscura
2	1.7ml	60 sg	turbia
3	2ml	60 sg	turbia
4	2.7ml	60 sg	turbia
5	3ml	60 sg	turbia

Fuente: Elaboración propia

Tabla III. . Resultados de la segunda prueba con floculante 1165

Prueba 2- Floculante 1165			
Tiempo de sedimentación con el floculante			
Nº	Volumen	Tiempo (sg)	Agua
1	1.5ml	60 sg	turbia
2	1.7ml	60 sg	turbia
3	2ml	60 sg	Turbia
4	2.7ml	60 sg	Turbia
5	3ml	54sg	turbia

Fuente: Elaboración propia

Tabla IV. Resultados de la tercera prueba con floculante 1145

Prueba 3- Floculante 1145			
Tiempo de sedimentación con el floculante			
Nº	Volumen	Tiempo (sg)	Agua
1	1.5ml	60 sg	turbia
2	1.7ml	60 sg	turbia
3	2ml	60 sg	Turbia

4	2.7ml	60 sg	turbia
5	3ml	60 sg	turbia

Fuente: Elaboración propia

Tabla V.Resultados de la primera prueba con floculante 1140

GLORIA DE DIOS – LIXIVIACIÓN			
Prueba 1- Floculante 1140			
Tiempo de sedimentación con el floculante			
Nº	Volumen	Tiempo (sg)	Agua
1	1.5ml	60 sg	oscura
2	1.7ml	60 sg	oscura
3	2ml	60 sg	oscura
4	2.7ml	60 sg	oscura
5	3ml	60 sg	oscura

Fuente: Elaboración propia

Tabla VI.Resultados de la segunda prueba con floculante 1165

Prueba 2- Floculante 1165			
Tiempo de sedimentación con el floculante			
Nº	Volumen	Tiempo (sg)	Agua
1	1.5ml	60 sg	oscura
2	1.7ml	60 sg	oscura
3	2ml	60 sg	oscura
4	2.7ml	60 sg	oscura
5	3ml	54sg	oscura

Fuente: Elaboración propia

Tabla VII.Resultados de la tercera prueba con floculante 1145

Prueba 3- Floculante 1145			
Tiempo de sedimentación con el floculante			
Nº	Volumen	Tiempo (sg)	Agua
1	1.5ml	60 sg	oscura
2	1.7ml	60 sg	oscura
3	2ml	60 sg	oscura
4	2.7ml	60 sg	oscura
5	3ml	60 sg	oscura

Fuente: Elaboración propia

Tabla VIII. Resultados de la primera prueba con floculante 1140

GLORIA DE DIOS – COSECHA			
Prueba 1- Floculante 1140			
Tiempo de sedimentación con el floculante			
Nº	Volumen	Tiempo (sg)	Agua
1	1.5ml	60 sg	oscura
2	1.7ml	60 sg	oscura
3	2ml	60 sg	oscura
4	2.7ml	60 sg	oscura
5	3ml	60 sg	oscura

Fuente: Elaboración propia

Tabla IX. Resultados de la segunda prueba con floculante 1165

Prueba 2- Floculante 1165			
Tiempo de sedimentación con el floculante			
Nº	Volumen	Tiempo (sg)	Agua
1	1.5ml	60 sg	oscura
2	1.7ml	60 sg	oscura
3	2ml	60 sg	oscura
4	2.7ml	60 sg	oscura
5	3ml	54sg	oscura

Fuente: Elaboración propia

Tabla X. Resultados de la segunda prueba con floculante 1145

Prueba 3- Floculante 1145			
Tiempo de sedimentación con el floculante			
Nº	Volumen	Tiempo (sg)	Agua
1	1.5ml	60 sg	oscura
2	1.7ml	60 sg	oscura
3	2ml	60 sg	oscura
4	2.7ml	60 sg	oscura
5	3ml	60 sg	oscura

Fuente: Elaboración propia

B. Resultados de Análisis de agua con floculante – Muestra Flotación

Tabla XI. Tiempo y volumen de floculación -Muestra 1 Flotación

FLÓCULO	VOLUMEN	TIEMPO
1140	1.5ml	60sg
	1.7ml	60sg
	2ml	22sg
	2.7ml	6sg
	3ml	10sg

Fuente: Elaboración propia

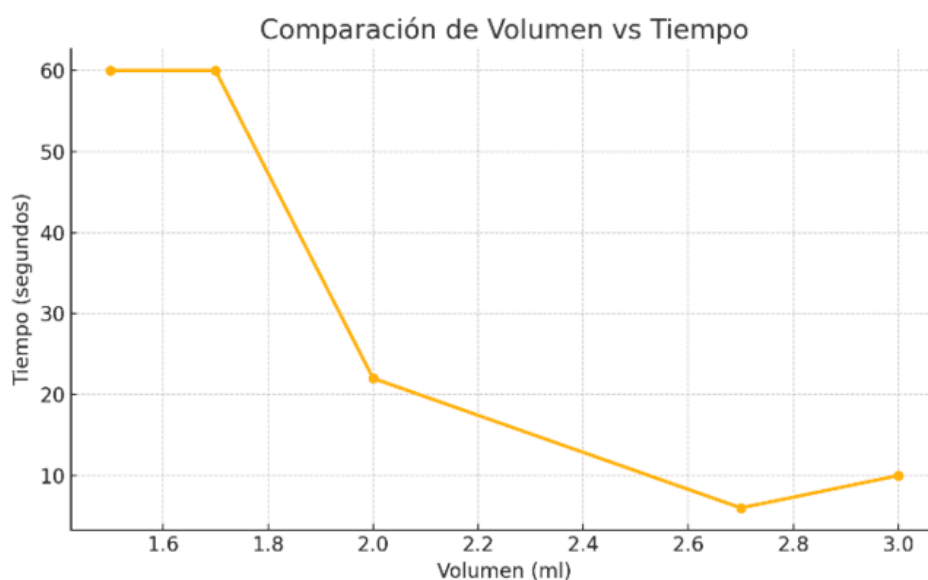


Figura 5. Comparación volumen vs tiempo sedimentación con floculante 1140- Flotación

Se presenta el análisis de efectividad del floculante 1140 durante el proceso de sedimentación. La tabla 11 nos indica el tiempo de sedimentación en función al volumen del floculante. Podemos observar que en los volúmenes de 1.5 y 1.7 ml el tiempo es de 60 segundos es decir permanece constante lo que nos muestra una baja eficiencia.

Al contrario de el volumen de 2 ml que nos demuestra que el tiempo disminuye drásticamente a 22 segundos revelando una mayor eficiencia del floculante. El grafico 3 nos demuestra mediante una curva descendente que logra alcanzar un mínimo en 2.7 y posterior se eleva. Finalmente, el floculante 1140 tiene una efectividad optima cerca de los 2.7 ml y luego se eleva, demostrando que las dosis elevadas no necesariamente nos permitirán mejorar este proceso, es necesario identificar el volumen ideal para así evitar la pérdida y potencial la evidencia.

Tabla XII. Tiempo y volumen de floculación- Muestra 2

FLÓCULO	VOLUMEN	TIEMPO
1165	1.5ml	60sg
	1.7ml	60sg
	2ml	32sg
	2.7ml	15sg
	3ml	13sg

Fuente: Elaboración propia

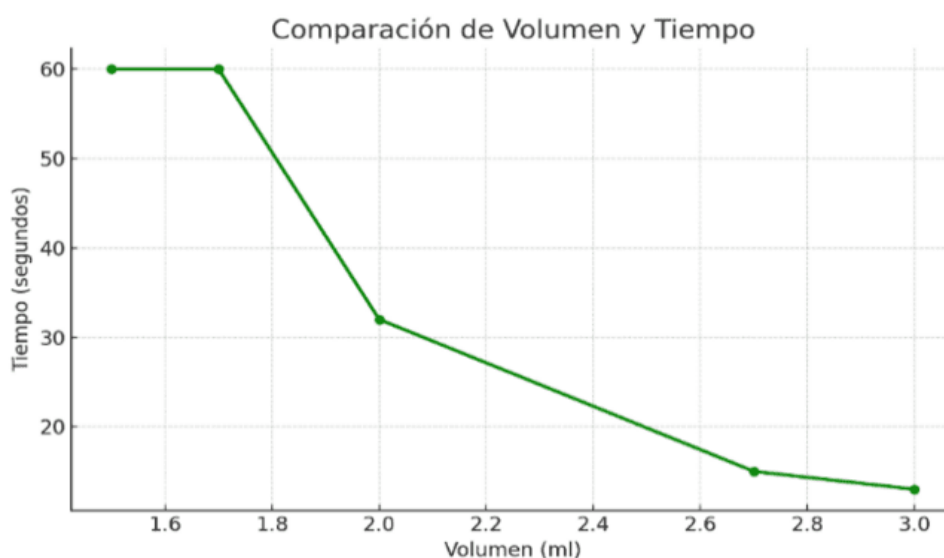


Figura 6. Comparación volumen vs tiempo sedimentación con floculante 1165

Podemos identificar la relación entre el volumen del floculante 1165 y de la misma manera el tiempo, como nos indica en la tabla 12 y de su gráfico perteneciente a la figura.4. Se empezó con los volúmenes bajos 1.5 y 1.7 ml el tiempo empleado se mantuvo constante de 60 segundos indicándonos una baja eficiencia sobre esas concentraciones.

Se pudo evidenciar mediante el gráfico una tendencia descendente demasiado clara demostrando que entre más aumenta el volumen aplicado mejor es su eficacia. Se observó que a los 3 ml es el punto de mayor eficacia y también se registra menor tiempo de sedimentación.

Tabla XIII. Tiempo y volumen de floculación - Muestra 3

FLÓCULO	VOLUMEN	TIEMPO
1145	1.5ml	60sg
	1.7ml	60sg
	2ml	44sg
	2.7ml	10sg
	3ml	8sg

Fuente: Elaboración propia

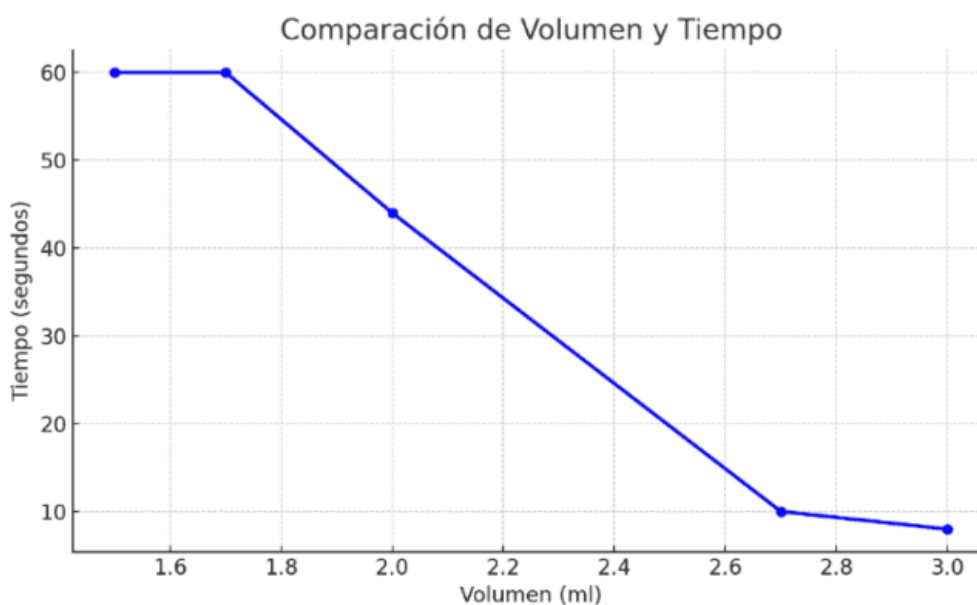


Figura 7. Comparación volumen vs tiempo sedimentación con floculante 1145

Se plantea el tiempo de sedimentación de acuerdo al volumen del floculante aplicado en este caso 1145. Según nos indica la tabla 13, a partir de 1.5 y 1.7 ml el tiempo es constante, demostrando una baja eficiencia. A partir del volumen 2 ml de floculante se puede verificar una gran mejora con una reducción de 44 segundos, analizando la curva podemos ver que se logra en 3 ml donde el tiempo de sedimentación es mínimo, el floculante 1145 presenta un nivel de eficiencia comenzando desde los 2 ml permitiendo que el proceso de clarificación del agua sea más óptimo.

C. Resultados de Análisis de agua con floculante – Muestra lixiviación

Tabla XIV. Tiempo y volumen de floculación -Muestra 1

Lixiviación

FLÓCULO	VOLUMEN	TIEMPO
1140	1.5ml	60sg
	1.7ml	60sg
	2ml	60sg
	2.7ml	60sg
	3ml	60sg

Fuente: Elaboración propia

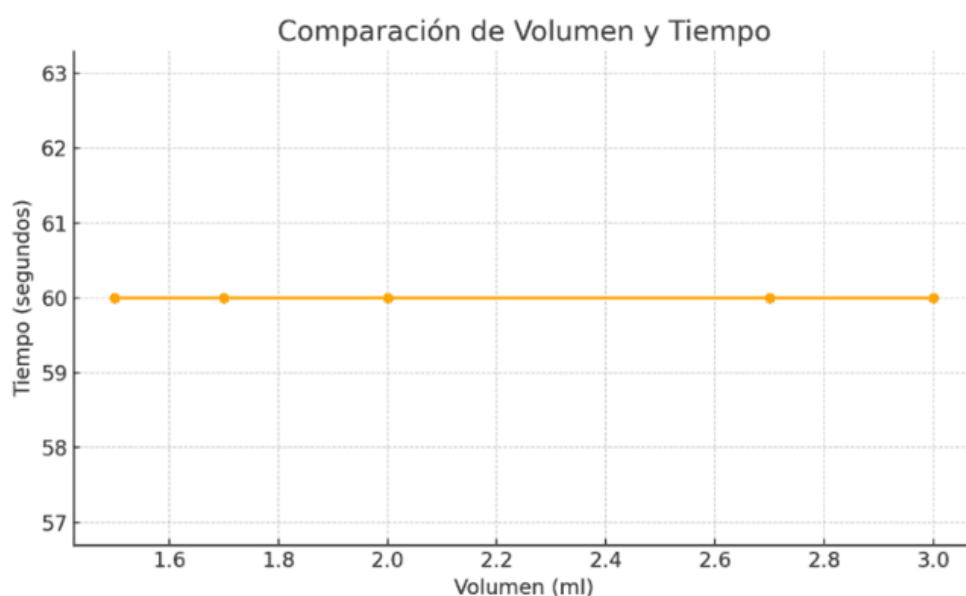


Figura 8. Comparación volumen vs tiempo sedimentación con floculante 1140- Lixiviación

El comportamiento del floculante 1140 en cuanto al volumen aplicado y el tiempo de sedimentación, mediante la tabla 14 nos indica que el volumen 1.5 y 3 ml el tiempo de sedimentación durante 60 segundos. Este proceso se lo demuestra por la figura 6 en la que podemos observar una línea totalmente horizontal en el gráfico, lo que nos da a conocer que el tiempo no vario así se incremente el volumen del floculante.

Finalmente logramos verificar que el floculante 1140 no es apto para este proceso ya que sus condiciones experimentales no permiten mejorar la eficiencia del proceso de sedimentación.

Tabla XV. Tiempo y volumen de floculación - Muestra 2

FLÓCULO	VOLUMEN	TIEMPO
1165	1.5ml	60sg
	1.7ml	60sg
	2ml	60sg
	2.7ml	60sg
	3ml	54sg

Fuente: Elaboración propia

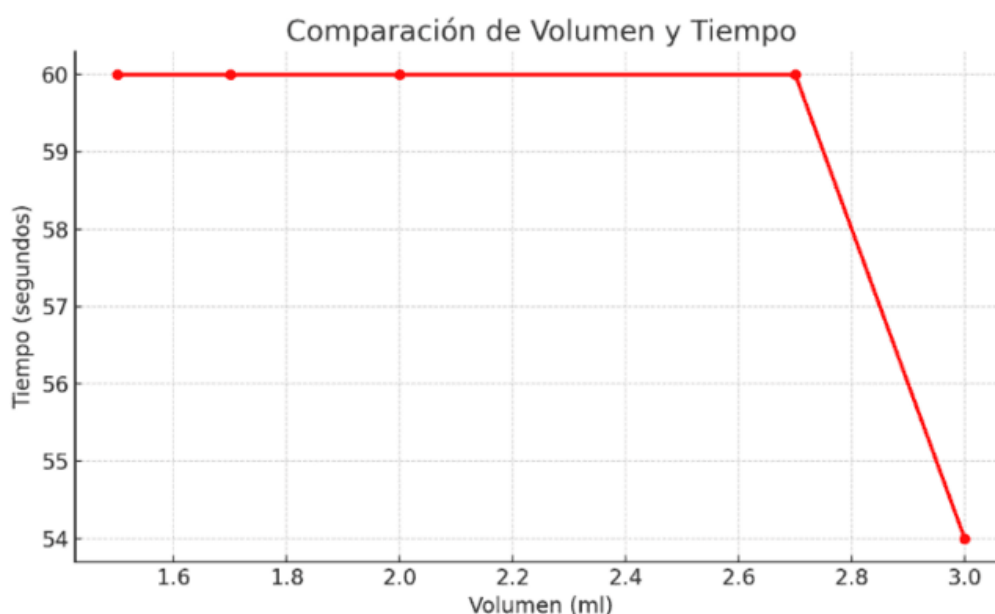


Figura 9. Comparación volumen vs tiempo sedimentación con floculante 1165

Se presenta la relación entre el volumen y el tiempo de sedimentación en este caso se utiliza el floculante 1165. La información obtenida mediante la tabla de datos nos demuestra que en los volúmenes 1.5 y 1.7 el tiempo de sedimentación es de 60 segundos. De la misma manera al aumentar el volumen a 3 ml se pudo observar que el tiempo es reducido, según la tendencia que nos indica la curva de la figura 7 dice que a mayor volumen del floculante la efectividad es mayor.

Tabla XVI. Tiempo y volumen de floculación- Muestra 3

FLÓCULO	VOLUMEN	TIEMPO
1140	1.5ml	60sg
	1.7ml	60sg
	2ml	60sg
	2.7ml	60sg
	3ml- 14ml	60sg

Fuente: Elaboración propia

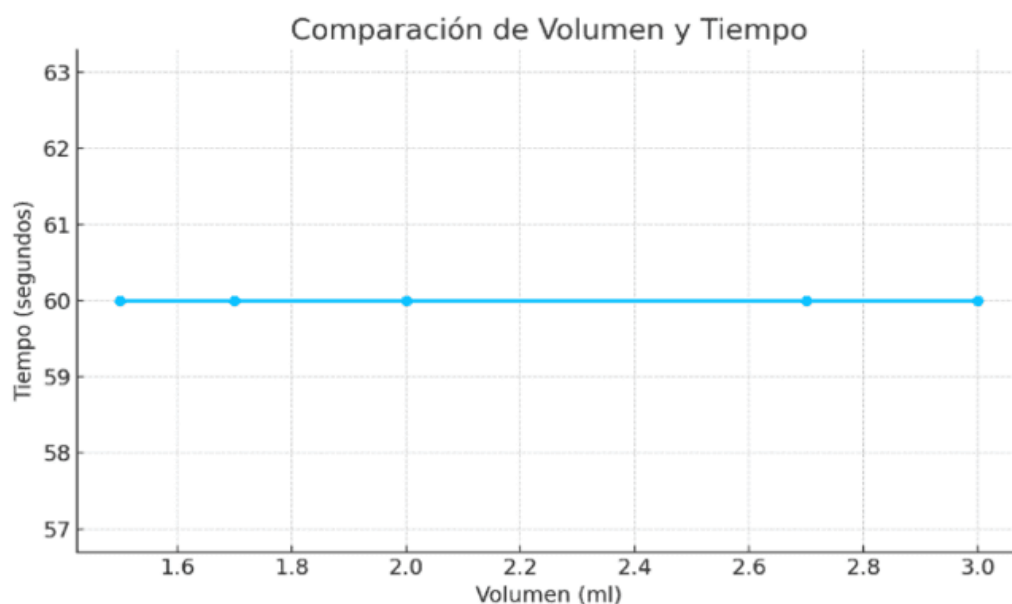


Figura 10. Comparación volumen vs tiempo sedimentación con floculante 1140

En la (Tabla.16) y la (Fig. 8), nos demuestran cómo se da el comportamiento del floculante 1140 en función al volumen y el tiempo de sedimentación. Según la tabla nos indica que en los volúmenes de 1.5 a 3 ml existen incrementos progresivos y que el tiempo permanece constante de 60 segundos. Representamos los datos obtenidos gráficamente como se puede observar en la figura 8 una línea recta horizontal lo que demuestra que el aumento del volumen del floculante no genera ningún cambio en cuanto al tiempo de sedimentación. Al contrario del floculante 1165 el resultado sugiere que el floculante 1140 posee un nivel de eficiencia más elevado sin importar la dosis utilizada.

C. Resultados de Análisis de agua con floculante – Muestra Cosecha

Tabla XVII. Tiempo y volumen de floculación -Muestra 1 Cosecha

FLÓCULO	VOLUMEN	TIEMPO
1140-1145-1165	1.5ml	60sg
	1.7ml	60sg
	2ml	60sg
	2.7ml	60sg
	3ml- 14ml	60sg

Fuente: Elaboración propia

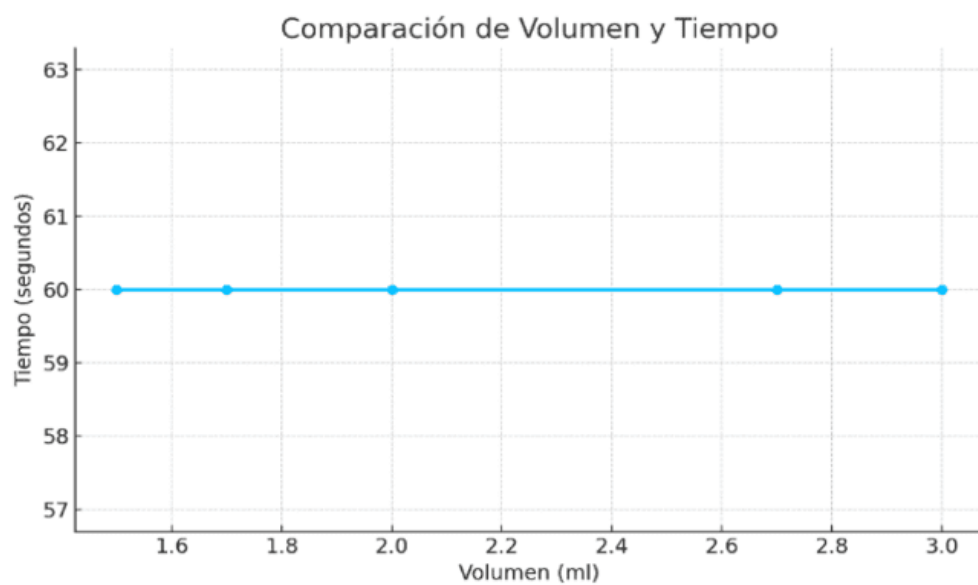


Figura 11. Comparación volumen vs tiempo sedimentación con floculante
1140-1145-1165 - Cosecha

D. Resultados de precipitación con floculante – Muestra Flotación

En la siguiente (**Tabla 18**), se identificó el tiempo de precipitación que se obtuvo en las diferentes pruebas de floculación, con los tres polímeros que estamos poniendo a prueba con un volumen de 1,5 – 3ml de floculante. En este punto de muestreo (flotación) se identificó al polímero 1165 más eficiente, porque se alcanzaron tiempos de 6sg de precipitación siendo uno de los mejores tiempos, A diferencia del 1140 que presenta tiempos más prolongados de precipitación de hasta 27sg.

Tabla XVIII. Tiempo de precipitación y volumen de polímeros -Muestra Flotación

GLORIA DE DIOS- FLOTACIÓN			
Numero de muestras	Polimero	Volumen	Precipitación
1	1140	1.5ml	26sg
2		1.7ml	27sg
3		2ml	16sg
4		2.7ml	12sg
5		3ml	12sg
6	1165	1.5ml	15sg
7		1.7ml	15sg
8		2ml	12sg
9		2.7ml	11sg
10		3ml	8sg
11	1145	1.5ml	15sg
12		1.7ml	20sg
13		2ml	13sg
14		2.7ml	10sg
15		3ml	6sg

En la **(Tabla 19)** Se presenta el tiempo de precipitación con los diferentes floculantes a prueba (1140, 1165, 1145) con un volumen que varía de 1,5 – 3ml, obtuvimos 5 pruebas por floculante con el cual pudimos identificar con cual polímero obtenemos el menos tiempo de precipitación. En el segundo punto de muestreo el floculante 1140, 1165 presentan casi el mismo rango de tiempo (20- 30 sg) a diferencia que el 1145 fue obteniendo un tiempo de 14sg.

Tabla XIX. Tiempo de precipitación y volumen de polímeros- Muestra Lixiviación

GLORIA DE DIOS- LIXIVIACIÓN			
Numero de muestras	Polimero	Volumen	Precipitación
1	1140	1.5ml	30sg
2		1.7ml	30 sg
3		2ml	27sg
4		2.7ml	27sg
5		3ml	20sg
6	1165	1.5ml	29sg
7		1.7ml	29sg
8		2ml	29sg
9		2.7ml	27sg
10		3ml	20sg
11	1145	1.5ml	23sg
12		1.7ml	23sg
13		2ml	28sg
14		2.7ml	15sg
15		3ml	14sg

Fuente: Elaboración propia

Con la muestra obtenida en el punto de muestreo de la cosecha vemos que los tiempos de precipitación es pasado el minuto con los diferentes floculantes a prueba demostrando así la falta de eficiencia en este tipo de muestra **(Tabla 20)**.

Tabla XX. Tiempo de precipitación y volumen de polímeros- Muestra Cosecha

GLORIA DE DIOS- COSECHA			
Numero de muestras	Polimero	Volumen	Precipitación
1	1140	1.5ml	mas de 1 min
2		1.7ml	mas de 1 min
3		2ml	mas de 1 min
4		2.7ml	mas de 1 min
5		3ml	mas de 1 min
6	1165	1.5ml	mas de 1 min
7		1.7ml	mas de 1 min
8		2ml	mas de 1 min
9		2.7ml	mas de 1 min
10		3ml	mas de 1 min
11	1145	1.5ml	mas de 1 min
12		1.7ml	mas de 1 min
13		2ml	mas de 1 min
14		2.7ml	mas de 1 min
15		3ml	mas de 1 min

E. Resultados de Análisis del agua sedimentada con floculante

Tabla XXI. Resultados del análisis de porcentajes de solidos

PRUEBAS	ENSAYO	RESULTADO	UNIDAD
PRUEBA 1 - FLOTACIÓN	Sòlidos totales en suspensión	13,49	%
PRUEBA 2 - LIXIVIACIÓN	Sòlidos totales en suspensión	4	%
PRUEBA 3 - CARBÓN	Sòlidos totales en suspensión	47,82	%

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla damos a conocer los resultados de los análisis del agua con el floculante, indicando la cantidad de solidos totales suspendidos. Evaluamos tres pruebas obtenidas de floculación, lixiviación y cosecha. En la prueba 1 de floculación se obtuvo un porcentaje de 13,49%, lo cual nos indica una reducción parcial de los sólidos tras aplicar el floculante. En la prueba 2 de lixiviación el valor fue de 4% demostrando que es necesario un nivel de claridad mayor en el agua en esta etapa del proceso. Finalmente, en la prueba 3 obtenida del proceso de cosecha el nivel de reducción de solidos suspendidos es elevado de 47,82% lo que refleja una alta concentración de los sólidos.

Los resultados obtenidos nos permitieron poder observar la variabilidad de calidad de agua que se puede obtener según en cada etapa, además en el proceso de floculación permite un nivel de reducción de contaminantes considerables, aunque no tanto como en lixiviación. Lograr hacer esta comparación nos permite verificar el nivel de eficiencia del tratamiento en cada fase permitiéndonos crear mejores alternativas.

IX.DISCUSIÓN

En el presente estudio experimental, la aplicación de ensayos para el tratamiento de sedimentación con diferentes polímeros nos permitió reconocer que tanto el tipo de floculante como el volumen aplicado influyen significativamente en el tiempo de precipitación. Se identificó que el mejor rendimiento del polímero 1145 se obtuvo en el primer punto de muestreo de flotación. Finalmente, en el punto de muestreo de cosecha, se determinó que la efectividad de los tres tipos de polímeros no resulta económicamente viable, ya que se requieren altas cantidades aproximadamente 2 ml, para lograr la clarificación de la muestra. Esto demuestra que, si bien poseen un alto nivel de eficiencia en la coagulación, su uso puede ser limitado en función del costo frente a otros tratamientos.

Según el análisis de algunas fuentes de información nos mencionan que el tratamiento de sedimentación consta de una serie de pruebas que permiten evaluar la eficiencia de los procesos que de la separación del sólido- líquido, abordar las diferentes características de los polímeros utilizados e identificar cual es el de mayor aporte.

Uno de los estudios que se lo conoce más representativo es el de Zhou, realizaron el proceso del tratamiento primario de sedimentación en la aplicación de las aguas residuales específicamente provenientes del lavado del carbón. Durante su investigación nos dan a conocer que aplicaron como primera parte la sedimentación simple de polímeros aniónicos. Sus resultados dieron a conocer que logro una remoción de sólidos suspendidos totales de aproximadamente el 40%, mientras que con el uso de los floculantes su nivel incrementa hasta un 80%. Dando a conocer que la coagulación - floculación es más factible para aplicarlos a este tipo de aguas ya que poseen partículas más finas [29].

Por otra parte, un estudio realizado a una planta de beneficio ubicada en Perú, se enfocó en comparar el nivel de eficiencia del tratamiento de sedimentación tradicional y sedimentación con coagulantes naturales elaborados con moringa oleífera y alumbre. Se determinó que el alumbre obtuvo mayor eficiencia de hasta un 85%, al contrario, la moringa mostro resultados en entornos rurales sin acceso a productos químicos [30].

Según Pérez, nos indica que los tratamientos que logran una sedimentación con un nivel de efectividad en menos de 20 segundos reducen hasta el 30% los costos a diferencia de otros tratamientos [30].

X. CONCLUSIÓN

- Se logró identificar las alternativas más efectivas para el proceso de floculación, aplicables al tratamiento primario de sedimentación en los tres puntos de muestreo. Se determinaron específicamente los floculantes que son más efectivos en la remoción de sólidos suspendidos logrando identificar que el floculante Harfol 1145 es el que permite mejorar la calidad del efluente.
- A base de nuestro segundo objetivo se cumplió con el respectivo análisis del comportamiento de cada una de las muestras que fueron tratadas con floculantes estos nos permitieron identificar de manera efectiva parámetros claves como el tiempo de sedimentación, tiempo de clarificación y finalmente el porcentaje de sólidos suspendidos. Permitiendo verificar las variaciones significativas que se presentaron en la eficiencia de los floculantes, en la remoción de los sólidos suspendidos y la clarificación.
- Finalmente se permitió analizar la factibilidad del tratamiento primario de sedimentación en los relaves de carbón mediante las pruebas de jarra con los floculantes 1140,1165,1145, por eso es necesario buscar otras alternativas más accesibles de manera económica, como es el caso de la moringa y el alumbre que pusieron a prueba en una planta de beneficio en Perú.

XI. RECOMENDACIÓN

- Se recomienda utilizar la misma cantidad de floculante en el primer punto de muestreo siempre y cuando su porcentaje de solidos suspendidos no sea superior.
- Para los otros puntos de muestreo se recomienda que el nivel de floculante sea mayor porque estos presentan un porcentaje de solidos suspendidos superiores haciendo que la efectividad del floculante tome más tiempo.
- Se requiere que durante el manejo de los materiales principalmente en el uso de la pipeta, tomar precaución ya que debemos ser exactos al momento de tomar el floculante, ya que podría dar una cantidad errónea.
- Impulsar la investigación sobre la aplicación del tratamiento primario de sedimentación no solo para el agua proveniente del lavado del carbón, sino distintas aguas residuales.

XII. REFERENCIAS

- [1] K. D. Miller *et al.*, "Mine Water Use, Treatment, and Reuse in the United States: A Look at Current Industry Practices and Select Case Studies", *ACS EST Eng.*, vol. 2, n.º 3, pp. 391-408, mar. 2022, doi: 10.1021/acsestengg.1c00244.
- [2] I. Zapico, J. B. Laronne, C. Meixide, L. Sánchez Castillo, y J. F. Martín Duque, "Evaluation of sedimentation pond performance for a cleaner water production from an open pit mine at the edge of the Alto Tajo Natural Park", *J. Clean. Prod.*, vol. 280, p. 124408, ene. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124408.
- [3] G. Pozo-Mera, M. Salvatierra-Barzola, J. Muyulema-Allaica, y F. Reyes-Soriano, "Revisión de métodos para depuración de aguas residuales derivadas de los procesos productivos", *593 Digit. Publ. CEIT*, vol. 7, n.º 4-2, pp. 496-506, sep. 2022, doi: 10.33386/593dp.2022.4-2.1348.
- [4] F. Matebese, A. K. Mosai, H. Tutu, y Z. R. Tshentu, "Mining wastewater treatment technologies and resource recovery techniques: A review", *Heliyon*, vol. 10, n.º 3, p. e24730, feb. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e24730.
- [5] D. G. Aliaga Churruarrin, "La reutilización del agua en la minería con enfoque en economía circular", *FIDES RATIO*, vol. 25, n.º 25, mar. 2023, doi: 10.55739/fer.v25i25.133.
- [6] S. Islam, D. J. Williams, M. Llano-Serna, y C. Zhang, "Settling, consolidation and shear strength behaviour of coal tailings slurry", *Int. J. Min. Sci. Technol.*, vol. 30, n.º 6, pp. 849-857, nov. 2020, doi: 10.1016/j.ijmst.2020.03.013.
- [7] H. I. Abdel-Shafy, M. Mansour, M. A. El-Khateeb, y Y. Deng, "Integrated treatment of black wastewater using sedimentation, constructed wetland, and nanoparticles coagulation", *Water Sci. Technol.*, vol. 90, n.º 7, pp. 2029-2039, oct. 2024, doi: 10.2166/wst.2024.320.
- [8] M. Á. L. Salazar, "SELECCIÓN DE TÉCNICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON CONTENIDO ELEVADO DE METALES PESADOS, ENFOCADO A LA SOSTENIBILIDAD EN LA INDUSTRIA MINERA COLOMBIANA", 2021.
- [9] N. Akhtar, M. I. Syakir Ishak, S. A. Bhawani, y K. Umar, "Various Natural and Anthropogenic Factors Responsible for Water Quality Degradation: A Review", *Water*, vol. 13, n.º 19, p. 2660, sep. 2021, doi: 10.3390/w13192660.
- [10] G. Ravindiran *et al.*, "A Review of the Status, Effects, Prevention, and Remediation of Groundwater Contamination for Sustainable Environment", *Water*, vol. 15, n.º 20, p. 3662, oct. 2023, doi: 10.3390/w15203662.
- [11] Y. Jurczynski, R. Passos, y L. C. Campos, "A Review of the Most Concerning Chemical Contaminants in Drinking Water for Human Health", *Sustainability*, vol. 16, n.º 16, p. 7107, ago. 2024, doi: 10.3390/su16167107.
- [12] P. Zhang *et al.*, "Water Quality Degradation Due to Heavy Metal Contamination: Health Impacts and Eco-Friendly Approaches for Heavy Metal Remediation", *Toxics*, vol. 11, n.º 10, p. 828, sep. 2023, doi: 10.3390/toxics11100828.
- [13] P. Babuji, S. Thirumalaisamy, K. Duraisamy, y G. Periyasamy, "Human Health Risks due to Exposure to Water Pollution: A Review", *Water*, vol. 15, n.º 14, p. 2532, jul. 2023, doi: 10.3390/w15142532.
- [14] T. M. K. Le, M. Mäkelä, N. Schreithofer, y O. Dahl, "A multivariate approach for evaluation and monitoring of water quality in mining and minerals processing industry", *Miner. Eng.*, vol. 157, p. 106582, oct. 2020, doi: 10.1016/j.mineng.2020.106582.
- [15] "Ley-de-Mineria (3).pdf"

- [16] L. T. Núñez, "Acuerdo Ministerial 37 Registro Oficial Suplemento 213 de 27-mar.-2014 Ultima modificación: 12-jul.-2016 Estado: Reformado".
- [17] C. Mestanza-Ramón *et al.*, "Gold Mining in the Amazon Region of Ecuador: History and a Review of Its Socio-Environmental Impacts", *Land*, vol. 11, n.º 2, p. 221, feb. 2022, doi: 10.3390/land11020221.
- [18] M. Moya, J. Martínez-Gómez, C. Carabajo, A. Toapanta, y C. Cruz, "Energy efficiency and carbon footprint assessment in artisanal and small-scale mining processing plants in Ecuador", *Environ. Geochem. Health*, vol. 47, n.º 6, p. 192, jun. 2025, doi: 10.1007/s10653-025-02487-9.
- [19] J. C. Beltrá, M. Gabarrón, Á. Faz, R. Zornoza, J. A. Acosta, y S. Martínez-Martínez, "Nitrogen Assessment in Amended Mining Soils Sown with *Coronilla juncea* and *Piptatherum miliaceum*", *Minerals*, vol. 12, n.º 4, p. 433, mar. 2022, doi: 10.3390/min12040433.
- [20] S. Yagüe, I. Sánchez, R. Vigil De La Villa, R. García-Giménez, A. Zapardiel, y M. Frías, "Coal-Mining Tailings as a Pozzolan Material in Cements Industry", *Minerals*, vol. 8, n.º 2, p. 46, ene. 2018, doi: 10.3390/min8020046.
- [21] "Rock-magnetic parameters and heavy metal distribution of the El Fraile I tailings (Guerrero, Mexico)", *Bol. Soc. Geológica Mex.*, vol. 76, n.º 3, p. A230124, dic. 2024, doi: 10.18268/BSGM2024v76n3a230124.
- [22] A. Arce-Sarria, K. M. Aldana-Villegas, L. A. Betancourt-Buitrago, J. Á. Colina-Márquez, F. Machuca-Martínez, y M. A. Mueses, "Degradation of Hexacyanoferrate (III) from Gold Mining Wastewaters via UV-A/LED Photocatalysis Using Modified TiO₂ P25", *Water*, vol. 12, n.º 9, p. 2531, sep. 2020, doi: 10.3390/w12092531.
- [23] L. Hamraoui *et al.*, "Towards a Circular Economy in the Mining Industry: Possible Solutions for Water Recovery through Advanced Mineral Tailings Dewatering", *Minerals*, vol. 14, n.º 3, p. 319, mar. 2024, doi: 10.3390/min14030319.
- [24] P. Garcia-Chevesich *et al.*, "Inexpensive Organic Materials and Their Applications towards Heavy Metal Attenuation in Waters from Southern Peru", *Water*, vol. 12, n.º 10, p. 2948, oct. 2020, doi: 10.3390/w12102948.
- [25] A. Zahoor, G. Mao, X. Jia, X. Xiao, y J. L. Chen, "Global research progress on mining wastewater treatment: a bibliometric analysis", *Environ. Sci. Adv.*, vol. 1, n.º 2, pp. 92-109, 2022, doi: 10.1039/D2VA00002D.
- [26] R. Mutika, S. Z. Tun, y F. M. Tembo, "Review of Mining and Sanitation Waste Water Management and Their Contribution to Water Contamination in Zambia", *Eur. J. Theor. Appl. Sci.*, vol. 2, n.º 3, pp. 745-759, may 2024, doi: 10.59324/ejtas.2024.2(3).58.
- [27] S. L. Chaparro Alba, "EVALUACIÓN DE TÉCNICAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES EN LOS VERTIMIENTOS PRODUCIDOS EN LA MINERÍA DE CARBÓN EN EL MUNICIPIO DE GUACHETÁ, CUNDINAMARCA", *Ing. Investig. Desarro.*, vol. 21, n.º 1, pp. 5-17, oct. 2021, doi: 10.19053/1900771X.v21.n1.2021.13507.
- [28] "Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf".
- [29] G. Xu *et al.*, "Flocculation and filtration performance of coal slime water: role of flocculant molecular weight and coagulants", *Int. J. Coal Prep. Util.*, pp. 1-13, doi: 10.1080/19392699.2025.2492718.
- [30] M. A. Castillo Cohaila, "Revisión sobre clarificación del agua y el uso de semillas de moringa, *Moringa oleífera* Lam.", *Rev. Soc. Científica Parag.*, vol. 28, n.º 1, pp. 169-189, may 2023, doi: 10.32480/rscp.2023.28.1.169.

ANEXOS

Anexo A. Preparación de polímeros para el proceso de tratamiento de sedimentación





Anexo B. Recolección de muestras para el proceso de tratamiento primario de sedimentación





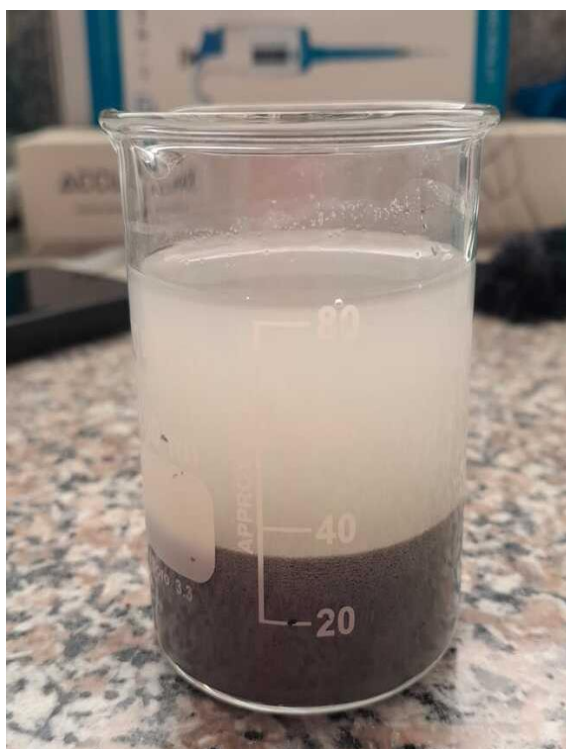
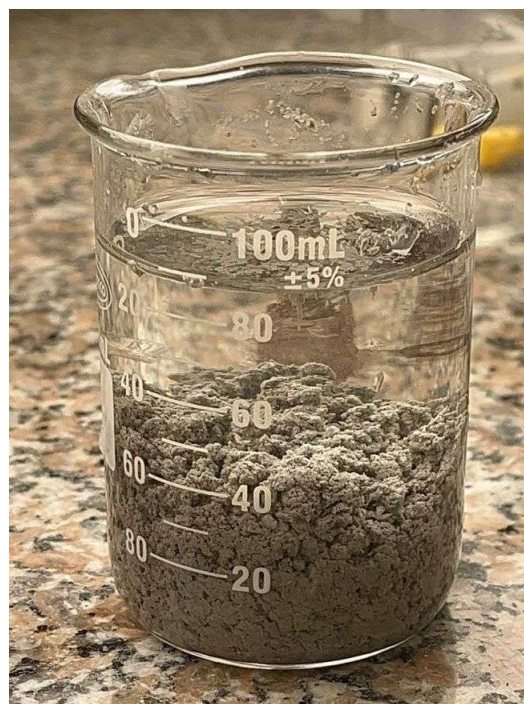
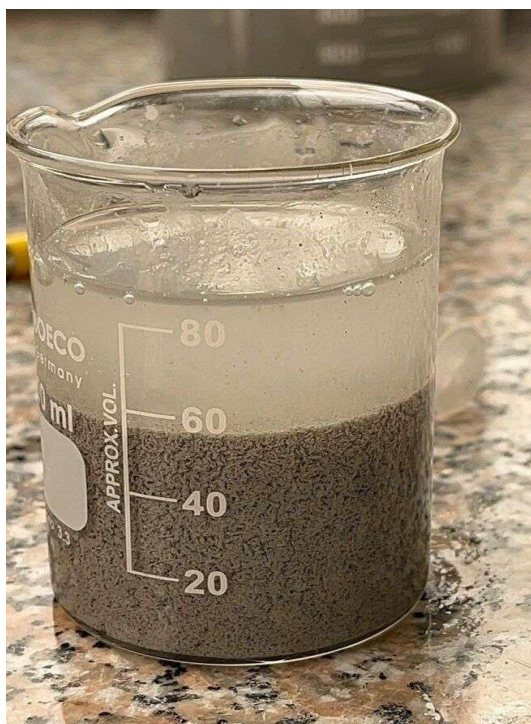
Anexo C. Pruebas de toma de floculante con la pipeta





Anexo D. Proceso de remoción de solidos suspendidos mediante el tratamiento primario de sedimentación





Anexo E. Revisión y toma de datos en los diferentes puntos de muestreo



Anexo F. Proceso de aplicación del tratamiento de sedimentación – Floculantes



Anexo H. Datos obtenidos con los floculantes aplicados a la muestra de Floculación

Tipo de Polimero	Volumen	Floculo	Agua	Tiempo de Floculacion	Precipitación
P					
1140	1.5ml	2	oscura	60sg	26sg
	1.7ml	2	oscura	60sg	27sg
	2ml	2	turbia	22sg	16sg
	2.7ml	4	turbia	6sg	12sg
	3ml	4	clara	10sg	12sg
1165	1.5ml	2	oscura	60sg	15sg
	1.7ml	2	oscura	60sg	15sg
	2ml	2	turbia	32sg	12sg
	2.7ml	2	turbia	15sg	11sg
	3ml	6	clara	13sg	8sg
1145	1.5ml	2	oscura	60sg	15sg
	1.7ml	2	oscura	60sg	20sg
	2ml	2	turbia	44sg	13sg
	2.7ml	4	media clara	10sg	10sg
	3ml	6	clara	8sg	6sg

Anexo I. Datos obtenidos con los floculantes aplicados a la muestra de Lixiviación

1140	1.5ml	2	oscura	60sg	30sg
	1.7ml	2	turbia	60sg	30 sg
	2ml	2	turbia	60sg	27sg
	2.7ml	2	turbia	60sg	27sg
	3ml	2	turbia	60sg	20sg
165	1.5ml	2	turbia	60sg	29sg
	1.7ml	2	turbia	60sg	29sg
	2ml	2	turbia	60sg	29sg
	2.7ml	2	turbia	60sg	27sg
	3ml	2	turbia	54sg	20sg
1145	1.5ml	2	turbia	60sg	23
	1.7ml	2	turbia	60sg	23
	2ml	2	turbia	60sg	28
	2.7ml	2	turbia	60sg	15sg
	3ml	2	turbia	60sg	28

Anexo J. Datos obtenidos con los floculantes aplicados a la muestra de Cosecha

1140	1.5ml	2	oscura	60sg	60sg
	1.7ml	2	oscura	60sg	60sg
	2ml	2	oscura	60sg	60sg
	2.7ml	2	oscura	60sg	60sg
	3ml- 14ml	2	oscura	60sg	60sg
1165	1.5ml	2	oscura	60sg	60sg
	1.7ml	2	oscura	60sg	60sg
	2ml	2	oscura	60sg	60sg
	2.7ml	2	oscura	60sg	60sg
	3ml- 8ml	2	oscura	60sg	60sg
1145	1.5ml	2	oscura	60sg	60sg
	1.7ml	2	oscura	60sg	60sg
	2ml	2	oscura	60sg	60sg
	2.7ml	2	oscura	60sg	60sg
	3ml - 6	2	oscura	60sg	60sg