

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Uso de floculantes coreanos; reológico y no iónico
para evaluar la recuperación de aguas industriales
por el método de sedimentación controlada.**

Abel Erick Sucuitana Churampi

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Nelida Tantavilca Martinez
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 4 de Julio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Uso de floculantes coreanos; reológico y no iónico para evaluar la recuperación de aguas industriales por el método de sedimentación controlada

Autores:

1. Abel Erick Sucuitana Churampi – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 12 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI NO
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**):
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original (No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación).

ASESOR
Ing. Nelida Tantavilca Martinez

AGRADECIMIENTOS

Quiero iniciar dirigiendo unas palabras de agradecimiento a Dios y a mi madre Auxiliadora, quienes me dan la oportunidad de conocer, aprender e incrementar mis conocimientos de muchas maneras.

De igual manera, agradezco a mi tutor, quien me ha escuchado, aconsejado y guiado durante todo el proceso de investigación, leyendo y analizando el presente trabajo de tesis el cual es el resultado de horas de dedicación y trabajo.

Así mismo, agradecer a mis docentes, quienes me brindaron múltiples conocimientos y en quienes he visto ejemplos de grandes profesionales, los cuales me sirven como mentores para seguir en mi vida profesional y personal.

Agradezco a mis padres por su amor incondicional y su trabajo que me hizo llegar hasta aquí; por su apoyo y protección a lo largo de los años y su velar de mis noches de sueño cuando se me iba la vida.

DEDICATORIA

A mis padres por estar siempre conmigo.

A mí, por esforzarme y seguir a pesar de las dificultades, sobre todo por creer en mí, siempre sin duda alguna.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.1.1. <i>Planteamiento del problema</i>	15
1.2. EVALUACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2.1. <i>Problemática general</i>	15
1.2.2. <i>Problemáticas específicas</i>	16
1.3. OBJETIVOS	16
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	16
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	16
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	16
1.4.1. <i>Justificación social - práctica</i>	16
1.4.2. <i>Justificación académica</i>	17
1.4.3. <i>Justificación económica</i>	17
1.4.4. <i>Justificación tecnológica</i>	18
1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.5.1. <i>Hipótesis general</i>	18
1.5.2. <i>Hipótesis específicas</i>	18
1.6. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES	19
1.6.1. <i>Variable independiente</i>	19
1.6.2. <i>Variable dependiente</i>	19
1.7. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	20
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	22
2.1. ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA.....	22
2.1.1. <i>Antecedentes internacionales</i>	22
2.1.2. <i>Antecedentes nacionales</i>	23
2.2. GENERALIDADES DE LA UNIDAD MINERA.....	24
2.2.1. <i>Ubicación de la mina</i>	24
2.2.2. <i>Accesibilidad a la mina</i>	24
2.2.3. <i>Geología regional de la mina</i>	25
2.2.4. <i>Geología local</i>	25
2.2.5. <i>Geología estructural</i>	26
2.2.6. <i>Modelo del yacimiento</i>	26
2.2.7. <i>Propiedades geomecánicas</i>	27
2.2.8. <i>Método de explotación</i>	27
2.3. BASES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN	28
2.3.1. <i>Procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de aguas</i>	28
2.3.2. <i>Eficiencia de los floculantes naturales en la remoción de contaminantes</i>	28
2.3.3. <i>Sedimentación controlada en el tratamiento de aguas industriales</i>	29

2.3.4.	<i>Impacto ambiental del uso de floculantes sintéticos y naturales.</i>	29
2.3.5.	<i>Aplicación de floculantes en la industria minera para el tratamiento de</i>	
	<i>aguas.</i>	29
2.4.	DEFINICIONES TEÓRICAS DEL ESTUDIO	30
2.4.1.	<i>Floculación en el tratamiento de aguas</i>	30
2.4.2.	<i>Coagulación en el tratamiento de aguas residuales</i>	30
2.4.3.	<i>Sedimentación controlada en el tratamiento de aguas.</i>	31
2.4.4.	<i>Floculantes naturales en el tratamiento de aguas industriales.</i>	31
2.4.5.	<i>Impacto ambiental de los floculantes químicos</i>	31
2.4.6.	<i>Adsorción en el tratamiento de aguas contaminadas</i>	32
2.4.7.	<i>Floculantes no iónicos y su aplicación en la industria</i>	32
2.4.8.	<i>Biopolímeros como alternativa a los floculantes convencionales</i>	32
2.4.9.	<i>Evaluación de la calidad del agua en procesos de tratamiento</i>	33
2.4.10.	<i>Regulaciones ambientales en el uso de floculantes.</i>	33
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		34
3.1.	MÉTODO Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	34
3.1.1.	<i>Método de la investigación</i>	34
3.1.2.	<i>Alcances de la investigación</i>	34
3.1.3.	<i>Diseño de la investigación</i>	34
3.1.4.	<i>Tipo de la investigación</i>	34
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA	34
3.2.1.	<i>Población</i>	34
3.2.2.	<i>Muestra</i>	35
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	35
3.3.1.	TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS	35
3.3.2.	INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS	35
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		36
4.1.	CONCEPTUALIZACIÓN	36
4.2.	ESTUDIO DE DATOS	36
4.2.1.	<i>Floculante coreano BYFLOC N44</i>	37
4.3.	ANÁLISIS DE LABORATORIO	37
4.3.1.	<i>Análisis 1</i>	37
4.3.2.	<i>Análisis 2</i>	41
4.3.3.	<i>Análisis 3</i>	44
4.4.	EVALUACIÓN DE RESULTADOS	46
4.5.	IMPLICACIONES TEÓRICAS	46
4.6.	COMPOSICIÓN GENERAL	47
4.7.	RESULTADO FINAL	47
4.8.	DISCUSIONES	48
CONCLUSIONES		50
RECOMENDACIONES		52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		53
ANEXOS		56

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Matriz operacional de variables.....	20
TABLA 2: Accesibilidad del área de estudio	24
TABLA 3: PH base	38
TABLA 4: Análisis de disolución de agua	38
TABLA 5: PH en floculante.....	39
TABLA 6: Grado de turbidez.....	40
TABLA 7: PH en test de jarras.....	42
TABLA 8: Disolución de floculantes	42
TABLA 9: Viscosidad de floculantes	43
TABLA 10: Análisis de turbidez y PH.....	43
TABLA 11: Sedimentación en muestra 1	44
TABLA 12: Floculante BYRHEO R65	45
TABLA 13: Floculante N44	45
TABLA 14: Comparación de resultados de laboratorio.....	46
TABLA 15: Resumen final de resultados	48

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Mapa regional.....	24
FIGURA 2: Perfil y sección geológica.....	25

RESUMEN

El uso eficiente del agua en la industria es un desafío constante debido a la generación de efluentes con altos niveles de sólidos en suspensión. La contaminación resultante afecta tanto al medioambiente como a los costos operativos de las empresas. En este estudio, se analiza la eficacia de floculantes de origen coreano en la recuperación de aguas industriales mediante la sedimentación controlada, poniendo énfasis en su capacidad para reducir la turbidez y en su viabilidad económica. Por ende, se realizaron pruebas experimentales en distintas condiciones operativas, evaluando la velocidad de sedimentación y la concentración de sólidos en el agua tratada.

Los resultados evidenciaron que, estos floculantes permiten una clarificación rápida y eficiente del agua, logrando una reducción significativa de la turbidez en tiempos óptimos de sedimentación. Además, un análisis de costos demostró que su implementación podría generar ahorros importantes al disminuir la necesidad de agua nueva y reducir los costos de tratamiento. En consecuencia, la adopción de estos productos representa una alternativa sostenible para la industria, fomentando un uso más racional y eficiente de los recursos hídricos.

La combinación de eficiencia operativa y beneficios económicos hace que esta tecnología sea una opción viable para sectores con altos requerimientos de tratamiento de aguas residuales, promoviendo soluciones innovadoras para la gestión ambiental y productiva.

Palabras clave: *Floculantes, sedimentación, aguas industriales, turbidez, costos, eficiencia.*

ABSTRACT

The efficient use of water in industry is a constant challenge due to the generation of effluents with high levels of suspended solids. The resulting pollution affects both the environment and companies' operating costs. This study analyzes the effectiveness of Korean flocculants in recovering industrial water through controlled sedimentation, emphasizing their ability to reduce turbidity and their economic viability. Therefore, experimental tests were conducted under different operating conditions, evaluating the sedimentation rate and solids concentration in the treated water.

The results showed that these flocculants allow for rapid and efficient water clarification, achieving a significant reduction in turbidity within optimal sedimentation times. Furthermore, a cost analysis demonstrated that their implementation could generate significant savings by reducing the need for new water and lowering treatment costs. Consequently, the adoption of these products represents a sustainable alternative for the industry, promoting a more rational and efficient use of water resources.

The combination of operational efficiency and economic benefits makes this technology a viable option for sectors with high wastewater treatment requirements, promoting innovative solutions for environmental and productive management.

Keywords: *Flocculants, sedimentation, industrial waters, turbidity, costs, efficiency.*

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso fundamental en la industria y su uso ineficiente genera altos volúmenes de efluentes con contaminantes que afectan tanto al medioambiente como a la rentabilidad de las empresas.

Uno de los problemas principales es la presencia de sólidos en suspensión en el agua residual, lo que dificulta su reutilización y eleva los costos de tratamiento. En este contexto, el uso de floculantes se presenta como una solución eficaz para mejorar los procesos de clarificación y optimizar la recuperación del agua en entornos industriales.

El presente estudio explora la aplicación de floculantes de origen coreano para mejorar la eficiencia en la sedimentación de sólidos en el agua residual, así mismo evalúa su capacidad para reducir la turbidez y desempeño en comparación con métodos tradicionales de tratamiento; analiza también su viabilidad económica considerando los costos asociados y los beneficios obtenidos en términos de reducción de consumo de agua y menores gastos en procesos de purificación.

Para ello, se llevaron a cabo pruebas experimentales bajo distintas condiciones operativas, midiendo variables clave como la velocidad de sedimentación y la concentración de sólidos en el agua tratada. A partir de los resultados obtenidos, se pretende determinar si estos floculantes pueden constituir una opción viable y sostenible para la industria. De esta manera, el estudio busca ofrecer una base técnica que facilite la toma de decisiones en la implementación de tecnologías eficientes para el manejo de aguas residuales industriales.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

El crecimiento de la actividad industrial ha incrementado significativamente el consumo del agua, generando una gran cantidad de aguas residuales con altos niveles de turbidez y contaminantes en suspensión.

En muchas zonas industriales la falta de tratamientos adecuados y eficientes para la recuperación de este recurso ha generado su desperdicio, agravando así los problemas de escasez hídrica y la contaminación ambiental.

Uno de los mayores retos en la recuperación de aguas industriales es mejorar el proceso de sedimentación para disminuir la cantidad de sólidos en suspensión sin afectar negativamente al ecosistema; para ello, se utilizan distintos tipos de floculantes, aunque su eficacia depende de la calidad del agua y las condiciones del entorno. En este sentido, los floculantes coreanos tanto reológicos como no iónicos, surgen como una opción innovadora y más sostenible, ofreciendo así una mejor eficiencia en el tratamiento del agua a través de una sedimentación controlada.

Sin embargo, surge las interrogantes sobre qué tan efectivos son estos floculantes en comparación con los convencionales y cuál es su impacto en la optimización del proceso.

Factores como la dosificación, el tipo de agua y el tiempo de sedimentación juegan un papel clave en la eficiencia del tratamiento; además, es fundamental evaluar la viabilidad de estos productos en términos económicos y operativos para su aplicación en la industria.

Este estudio ayudará a comprender mejor el rendimiento de estos floculantes y su efecto en la calidad del agua recuperada; así mismo, busca impulsar un uso más eficiente del recurso hídrico en la industria y fomentar prácticas más sostenibles en la gestión del agua.

1.2. Evaluación del problema

1.2.1. Problemática general

¿En cuál medida el uso de los floculantes coreanos, reológicos y no iónicos, mejora la recuperación de aguas industriales mediante el método de sedimentación controlada, considerando su eficiencia en la reducción de turbidez y la optimización del proceso?

1.2.2. Problemáticas específicas

- ¿De qué manera influye la dosificación de floculantes coreanos, reológicos y no iónicos en la mejora de la sedimentación y la disminución de la turbidez en aguas industriales?
- ¿Cuál es la relación entre las características fisicoquímicas del agua industrial y el desempeño de los floculantes coreano reológicos y no iónicos? en el proceso de sedimentación controlada?
- ¿Cuál es el impacto económico y operativo de utilizar floculantes coreanos reológicos y no iónicos en comparación con los métodos tradicionales para el tratamiento de aguas industriales?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la eficacia del uso de floculantes coreanos, reológicos y no iónicos en la recuperación de aguas industriales mediante el método de sedimentación controlada, analizando su impacto en la reducción de turbidez y la optimización del proceso.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar cómo la dosificación de floculantes coreanos, reológicos y no iónicos afecta la eficiencia del proceso de sedimentación y la reducción de la turbidez en aguas industriales.
- Determinar la relación entre las características fisicoquímicas del agua industrial y el desempeño de los floculantes coreanos reológicos y no iónicos en el proceso de sedimentación controlada.
- Relacionar el factor de turbidez y dosificación mediante el uso de floculantes coreanos tanto reológicos como no iónicos para evaluar la recuperación de aguas industriales mediante el método de sedimentación controlada.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación social - práctica

El acceso y la gestión eficiente del agua son desafíos clave en la actualidad, especialmente en zonas industriales donde su uso intensivo puede generar un impacto ambiental considerable. Su contaminación afecta directamente a las comunidades cercanas, comprometiendo su salud y calidad de vida. Implementar estrategias efectivas para la recuperación de aguas industriales no solo ayuda a reducir la contaminación, sino que también promueve un uso más responsable del recurso, beneficiando tanto a empresas como a la sociedad en general.

Esta investigación busca aportar soluciones prácticas para mejorar la calidad del agua recuperada, disminuyendo los residuos industriales y fomentando una mayor

conciencia ambiental. La aplicación de floculantes coreanos tanto reológicos como no iónicos, permite optimizar el proceso de sedimentación, ayudando a las industrias a reducir su impacto ecológico. Esto no solo fortalece su compromiso con el medio ambiente, sino que también impulsa prácticas responsables que benefician a la comunidad y garantizan la sostenibilidad del recurso hídrico a largo plazo.

1.4.2. Justificación académica

El desarrollo de nuevas alternativas para el tratamiento de aguas industriales es un tema de creciente interés en la ingeniería y ciencias ambientales. Esta investigación aportará conocimientos sobre el rendimiento de los floculantes coreanos reológicos y no iónicos en la recuperación del agua a través de la sedimentación controlada, lo que permitirá comprender mejor su impacto en distintos tipos de aguas residuales. Dando así nuevas oportunidades de aprendizaje e innovación en el ámbito académico y proporcionando una base de referencia para futuros estudios.

Además, este trabajo ayudará a estudiantes y profesionales de ingeniería a valorar la importancia de optimizar los procesos de tratamiento de agua. La comparación entre floculantes reológicos y no iónicos fortalecerá la enseñanza en este campo, proporcionando un enfoque metodológico aplicable a diversas industrias. De esta manera, el estudio contribuirá a la formación de especialistas capaces de desarrollar soluciones eficientes y sostenibles para la gestión del recurso hídrico.

1.4.3. Justificación económica

El uso eficiente del agua en la industria no solo contribuye al cuidado del medio ambiente, sino que también representa una estrategia clave para reducir costos operativos. La aplicación de floculantes adecuados mejora la sedimentación de partículas en suspensión, el cual permite una mayor reutilización del agua en los procesos productivos, ayuda a disminuir el consumo de agua potable, reduce los gastos por el vertido de aguas residuales y minimiza los costos asociados a tratamientos convencionales.

Sin embargo, para evaluar con precisión el impacto económico de la incorporación de floculantes coreanos tanto reológicos como no iónicos, es necesario contar con información detallada sobre su costo.

Actualmente, la falta de precios específicos del reactivo impide realizar un análisis económico completo, no obstante, al optimizar la recuperación del agua, esta tecnología podría generar ahorros en la compra de insumos químicos y reducir riesgos de sanciones ambientales, lo que sugiere un potencial beneficio financiero a largo plazo.

1.4.4. Justificación tecnológica

Los avances en el tratamiento de aguas industriales han llevado al desarrollo de compuestos químicos más eficientes y sostenibles. En este contexto, la investigación sobre el uso de floculantes coreanos reológicos y no iónicos representa una oportunidad para mejorar los procesos de sedimentación y clarificación del agua, optimizando su tratamiento sin generar impactos negativos en el ecosistema. Evaluar estas tecnologías permitirá determinar su viabilidad y aplicación en diferentes sectores industriales.

Asimismo, la implementación de floculantes avanzados facilita la automatización y el control de los sistemas de tratamiento de agua, permitiendo procesos más eficientes y escalables. Al comprender mejor su funcionamiento, es posible diseñar soluciones innovadoras que reduzcan la intervención manual y minimicen errores en la gestión de aguas residuales. Este estudio busca impulsar el desarrollo tecnológico en la industria, promoviendo herramientas más avanzadas para una gestión hídrica más eficiente y sostenible.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La aplicación de floculantes coreanos, reológicos y no iónicos, mejora significativamente la recuperación de aguas industriales mediante el método de sedimentación controlada, optimizando la reducción de turbidez y la eficiencia del proceso.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Una adecuada dosificación de floculantes coreanos, reológicos y no iónicos, influye positivamente en la eficiencia de la sedimentación y en la reducción de turbidez del agua industrial.
- Las propiedades fisicoquímicas del agua industrial influyen directamente en el rendimiento de los floculantes coreanos, reológicos y no iónicos determinando su efectividad en el proceso de sedimentación controlada.
- El uso de floculantes coreanos tanto reológicos como no iónicos, permite establecer una relación entre el factor de turbidez y la dosificación, optimizando la recuperación de aguas industriales mediante el método de sedimentación controlada. Se espera que la aplicación de estos floculantes mejore la eficiencia en la remoción de partículas en suspensión, reduciendo la turbidez del agua tratada y favoreciendo su reutilización en procesos industriales.

1.6. Identificación de las variables

1.6.1. Variable independiente

Uso de floculantes coreanos, reológicos y no iónicos.

1.6.2. Variable dependiente

- Recuperación del agua industrial
- Turbidez del agua tratada

1.7. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1: Matriz operacional de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Escala de medición	
Independiente	Uso de floculantes coreanos, reológicos y no iónicos.	Sustancias químicas utilizadas en procesos de tratamiento de aguas para aglomerar partículas en suspensión y facilitar su sedimentación.	Aplicación de floculantes coreanos en distintas dosis para evaluar su efectividad en la recuperación de aguas industriales mediante sedimentación controlada.	- Tipo de floculante (reológico o no iónico)	- Concentración del floculante aplicado	- Registro de dosificación	- mg/L (miligramos por litro)
				- Dosificación aplicada	- Eficiencia de aglomeración y sedimentación	- Análisis de laboratorio	- Tiempo de sedimentación (minutos)
Dependiente	Recuperación del agua industrial.	Proceso de clarificación y reutilización del agua residual industrial después de un tratamiento de	Evaluación del volumen de agua clarificada y la reducción de contaminantes tras aplicar el proceso de sedimentación	- Cantidad de agua recuperada	- Volumen de agua clarificada	- Medidor de volumen	- Litros recuperados
				- Calidad del agua después	- Nivel de contaminantes remanentes	- Análisis fisicoquímico del agua	- mg/L de contaminantes

	separación de sólidos.	con floculantes coreanos.	del tratamiento			
Turbidez del agua tratada.	Grado de turbidez del agua causado por la presencia de partículas en suspensión.	Evaluación de la reducción de turbidez en el agua tratada mediante el uso de floculantes coreanos.	- Nivel de clarificación	- Unidades de Turbidez Nefelométrica (NTU)	- Turbidímetro	- NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez)
			- Reducción de partículas en suspensión	- Tiempo de sedimentación	- Cronómetro	- Minutos (tiempo de sedimentación)

Fuente: *elaboración propia*

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la problemática

2.1.1. Antecedentes internacionales

Bravo (2017), en su estudio: "Coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales", evaluó la eficiencia de coagulantes naturales en la eliminación de turbidez y sólidos suspendidos en aguas residuales. Para ello, extrajo coagulantes de semillas de plantas y realizó pruebas de jarras para determinar la dosis óptima. Los resultados mostraron que una concentración de 5 % logró una eficiencia de remoción del 80 % al 85 %, concluyendo que ciertas semillas pueden ser una alternativa efectiva en el tratamiento de aguas residuales (1).

Ruelas-Leyva et al. (2017), en su investigación: "Tratamiento de aguas vía floculación usando materiales naturales", analizaron el desempeño del quitosano como floculante para reducir la turbidez y eliminar iones de metales pesados en aguas residuales, todo ello a través de experimentos con distintas concentraciones de quitosano, evaluaron la calidad del agua tratada. Los resultados demostraron que este biopolímero es altamente eficiente, ya que lograron una remoción superior de turbidez y metales pesados en comparación con floculantes comerciales, además de generar un sedimento más compacto (2)

Genesis Water Technologies (2022), en su artículo: "Floculantes naturales versus polímeros sintéticos para el tratamiento de aguas residuales", comparó las ventajas de los floculantes naturales frente a los polímeros sintéticos en el tratamiento de aguas industriales. A partir de una revisión de estudios previos, analizaron factores como eficiencia, dosificación y estabilidad; llegando a la conclusión que los floculantes naturales permiten un mejor control del pH, además requieren dosis menores del floculante natural y ofrecen mayor estabilidad al corte de los flóculos en comparación con los sintéticos (3).

Picos-Corrales et. al. (2020), en su estudio: "Tratamiento de aguas vía floculación usando materiales naturales", evaluaron la eficiencia del quitosano en la remoción de turbidez y metales pesados en aguas residuales. Mediante experimentos con distintas concentraciones, compararon su rendimiento con floculantes comerciales. Los resultados confirmaron que el quitosano es altamente efectivo en la reducción de turbidez y metales pesados, además de formar un sedimento más compacto que los floculantes convencionales (4).

Genesis Water Technologies (2023), en su artículo: "Polímeros naturales para floculación industrial: una guía", explorando el uso de polímeros naturales en procesos de floculación industrial para el tratamiento de agua y a través de una revisión bibliográfica y estudios de caso, en los que analizaron la eficiencia de diversos polímeros naturales. Llegando a la conclusión que, opciones como el quitosano y el almidón representan una alternativa sostenible y eficaz frente a los floculantes sintéticos en aplicaciones industriales (5).

2.1.2. Antecedentes nacionales

Vargas y Romero (2010), en su informe sobre coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en países en desarrollo, propusieron crear estos productos a partir de recursos naturales disponibles en la región. Para ello, extrajeron y caracterizaron compuestos naturales, evaluando su eficacia en procesos de coagulación y floculación. Los resultados demostraron que algunos de estos compuestos pueden reemplazar a los comerciales, ofreciendo una alternativa más económica y sostenible para el tratamiento del agua (6).

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2017), llevó a cabo un estudio sobre el uso de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales, cuyo objetivo fue evaluar la capacidad de ciertas semillas para reducir la turbidez y los sólidos suspendidos. Mediante pruebas de jarras, determinaron la dosis óptima y compararon su efectividad con la de coagulantes comerciales. Los hallazgos demostraron que algunas semillas pueden alcanzar hasta un 85 % de eficiencia en la remoción de contaminantes, lo que las convierte en una opción viable y natural (7).

Derypol (2024), publicó un artículo sobre el papel de los floculantes en la clarificación del agua a través de sedimentación y flotación. A partir de estudios de caso y aplicaciones industriales analizaron la eficiencia de distintos floculantes para reducir la turbidez y los sólidos en suspensión. Su investigación resaltó que el uso adecuado de estos compuestos es clave para cumplir con las normativas de descarga de agua y optimizar los procesos de tratamiento (8).

Veolia Water Technologies (2025), presentó un estudio enfocado en mejorar las tasas de asentamiento y disminuir la producción de lodos en el tratamiento de aguas residuales. Evaluaron la efectividad de ciertos coagulantes y floculantes en la eliminación de sólidos y materia orgánica, obteniendo mejoras notables en la clarificación del agua y una reducción significativa en la generación de lodos (9).

La Universidad de Sinaloa (2020), investigó el uso de materiales naturales como floculantes en el tratamiento de aguas y a través de experimentos analizaron la capacidad de diferentes compuestos naturales como el quitosano y proteínas vegetales para reducir la turbidez y eliminar contaminantes. Los resultados mostraron que estos

materiales lograron disminuir hasta un 88 % la turbidez y un 65 % los metales pesados, confirmando que, los floculantes naturales representan una alternativa ecológica y eficiente frente a los polímeros sintéticos en el tratamiento de aguas residuales industriales (10).

2.2. Generalidades de la unidad minera

2.2.1. Ubicación de la mina

La concesión minera Santa Rosa 94-I está ubicada en el paraje de Ajocucho, distrito de Llocllapampa, provincia de Jauja, departamento de Junín - Perú. Se ubica a una altitud aproximada de 3,750 m. s. n. m., con coordenadas 11°50'00'' de latitud sur y 75°37'28'' de longitud oeste.

2.2.2. Accesibilidad a la mina

El acceso a la mina es principalmente por vía terrestre; desde Lima, se debe recorrer la carretera central hasta el kilómetro 240, en el puente de Llocllapampa; desde allí, el trayecto continúa por una trocha afirmada de aproximadamente 5 km. La ruta combina tramos asfaltados y afirmados, el último tramo hacia la cantera se realiza por un camino de tierra.

Tabla 2: Accesibilidad del área de estudio

N°	Zona	Ubicación	Tiempo	Coordenadas	Descripción
1	Punto de partida	Lima - Perú	-	12°02'06"S, 77°01'07"W	Se toma la carretera central en dirección a la Sierra Central del Perú.
2	Ciudad intermedia	Huancayo - Junín	6-7 horas	12°04'30" S, 75°12'06" W	Ciudad principal de la región, con acceso asfaltado. Se continúa por la carretera central.
3	Punto de desvío	Puente Llocllapampa	4 horas desde Huancayo	11°50'15" S, 75°30'48" W	Punto donde se toma la vía afirmada hacia la concesión minera.
4	Camino de trocha	Llocllapampa - Cantera	20-30 minutos	11°50'00'' S, 75°37'28'' W	Tramo final de acceso por camino de tierra, requiere

Fuente: *elaboración propia*

2.2.3. Geología regional de la mina

La zona de estudio se encuentra en los Andes centrales del Perú, específicamente entre la cordillera Occidental y Oriental; su morfología está caracterizada por altiplanicies que superan los 4,000 m.s.n.m., con topografía variada. Se observan geformas asociadas a la superficie Puna, con vestigios de procesos de glaciación y erosión cárstica lo que ha generado valles en forma de U.

MAPA DE UBICACIÓN REGIONAL

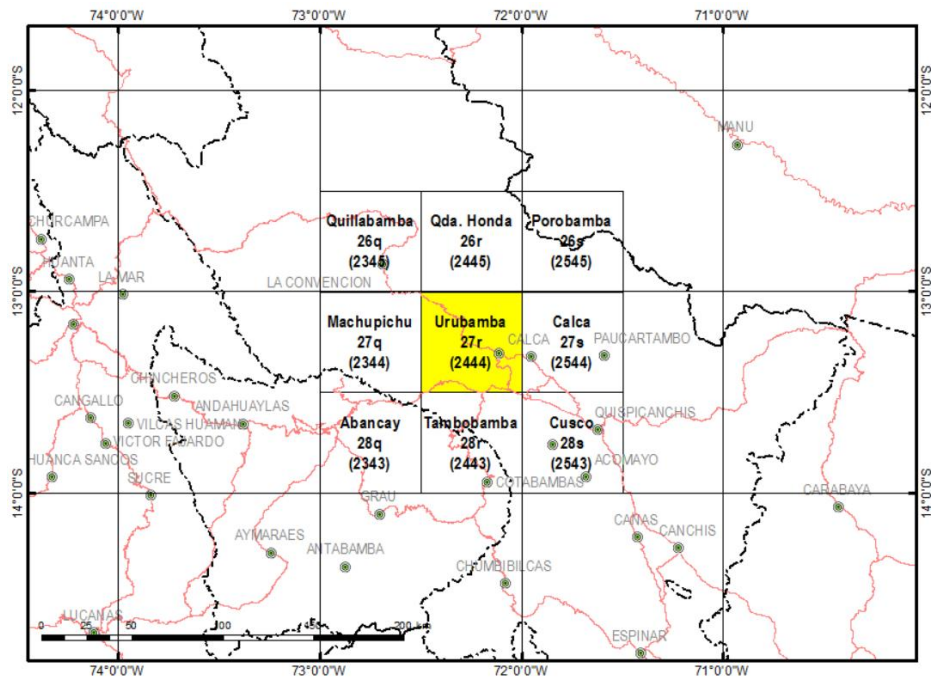


Figura 1: Mapa Regional

Fuente: *Código Internacional IGN*

2.2.4. Geología local

El yacimiento está compuesto por mantos estratiformes, con una base ubicada a unos 3,365 m.s.n.m. y una elevación máxima de 4,200 m.s.n.m. La zona tiene una topografía accidentada con rocas calcáreas, bancos de arena silíceas y conglomerados de cantos rodados. La formación geológica ha sido influenciada por procesos marinos y tectónicos que dan origen a minerales como sílice, carbonatos y mármol.

2.2.5. Geología estructural

La geología estructural de la cantera Santa Rosa 94-I está fuertemente influenciada por los procesos tectónicos asociados al levantamiento de la cordillera de los Andes. La zona presenta una serie de pliegues sinclinales y anticlinales con una inclinación variable que oscila entre los 30 ° y 50 °. Estos pliegues han condicionado la disposición de los estratos de arena silícea, los cuales se encuentran intercalados con bancos de caliza y conglomerados. Además, se han identificado fracturas y fallas que han favorecido la erosión diferencial, contribuyendo a la formación del relieve actual. Estas estructuras tectónicas afectan la estabilidad del terreno, lo que debe ser considerado en el diseño de explotación y seguridad minera.

Otro aspecto importante es la presencia de diaclasas y zonas de debilidad, las cuales pueden influir en la estabilidad de los taludes. Estas discontinuidades han sido rellenadas en algunos casos por minerales secundarios, lo que genera variaciones en la resistencia mecánica de las rocas. En términos de estabilidad geotécnica, la interacción entre las fallas y los pliegues puede generar áreas propensas a deslizamientos, especialmente en sectores donde la inclinación de los estratos es más pronunciada. La identificación y monitoreo de estas estructuras son la clave para optimizar el diseño de los bancos de explotación y evitar fallas geotécnicas que puedan comprometer la seguridad de la operación.

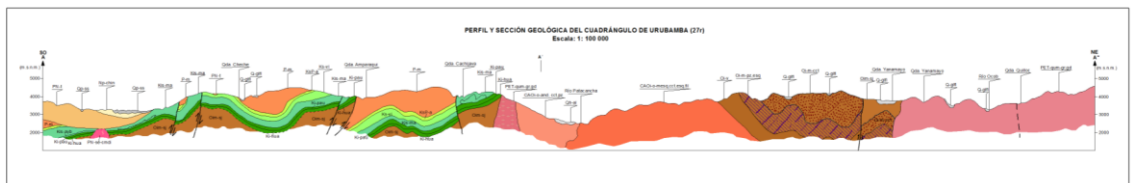


Figura 2: Perfil y sección geológica

Fuente: mapa geológico de INGEMMET

2.2.6. Modelo del yacimiento

El yacimiento de Santa Rosa 94-I corresponde a una formación sedimentaria de origen marino donde la acumulación de material silíceo ha dado lugar a bancos de arena de sílice de alta pureza. Su génesis se relaciona con procesos de precipitación y deposición de sílice en ambientes marinos someros que posteriormente fueron compactados y expuestos a la erosión y re - sedimentación a lo largo del tiempo geológico. La estructura del yacimiento se presenta en forma de mantos estratiformes con espesores variables y una inclinación moderada que facilita su extracción mediante métodos de minería a cielo abierto.

El cuerpo mineralizado tiene una profundidad estimada de 430 m, 150 m de ancho de aproximadamente y 1,300 m de longitud, lo que indica un volumen significativo de reservas explotables; así mismo, los análisis de composición química han determinado un contenido de SiO₂ superior al 95 %, lo que hace que esta arena sea altamente demandada en diversas industrias, como la fabricación de vidrio y cerámica. La continuidad lateral de los mantos sugiere que el depósito podría extenderse más allá de los límites actuales de explotación, por lo que futuros estudios de exploración podrían incrementar las reservas estimadas del yacimiento.

2.2.7. Propiedades geomecánicas

Las propiedades geomecánicas del yacimiento han sido evaluadas a partir de ensayos de laboratorio y estudios de estabilidad de taludes, determinando que la arena de sílice presenta una baja cohesión y alta permeabilidad, haciéndola susceptible a la erosión y a la pérdida de estabilidad en condiciones de humedad elevada. Por otro lado, las calizas y conglomerados que forman parte de la caja del yacimiento presentan mayor resistencia a la compresión, lo que permite diseñar bancos con ángulos más pronunciados en estas secciones del depósito. En términos de resistencia, los estudios han indicado que el ángulo de fricción interna de la arena es relativamente bajo, debiendo ser considerado en el diseño de los taludes de explotación.

Para optimizar la estabilidad del yacimiento, se han definido diferentes parámetros de diseño geotécnico como la altura de los bancos y la inclinación de los taludes. En la parte inferior del depósito (caja piso), los bancos tienen una altura de 10 m y un ángulo de 70 °; mientras que en la parte superior (caja techo), donde predominan calizas más resistentes, la inclinación alcanza los 80 °. Adicionalmente, se han identificado zonas con mayor riesgo de inestabilidad debido a la presencia de fallas y fracturas, por lo que se han recomendado medidas de monitoreo y refuerzo para garantizar la seguridad en la explotación. Estos estudios geomecánicos son fundamentales para definir estrategias de sostenimiento y minimizar riesgos operativos.

2.2.8. Método de explotación

El método de explotación empleado en la cantera Santa Rosa 94-I es de tajo abierto tipo cantera, con extracción en bancos por corte y derribo. En este sistema se realizan voladuras controladas en la parte superior del yacimiento para fragmentar el material, permitiendo que la arena silíceca caiga por gravedad hacia una plataforma de carguío inferior. Desde allí se emplea maquinaria pesada como cargadores frontales y volquetes para transportar el material hacia las áreas de clasificación y procesamiento. Este método permite una extracción eficiente y minimiza la necesidad de manipulación mecánica, reduciendo así los costos operativos.

Uno de los aspectos clave en el proceso de explotación es el uso de agua canalizada desde la quebrada Poncijalo que facilita el transporte del material mediante sistemas de canaletas. Este método artesanal de transporte hidráulico permite una separación preliminar de partículas finas y gruesas, optimizando la calidad del producto final. Sin embargo, se han identificado oportunidades de mejora en el proceso como la modernización del sistema de clasificación y la implementación de una planta de tratamiento integral. Estas mejoras permitirían incrementar la producción, reducir el desperdicio de material y mejorar el rendimiento económico de la operación.

2.3. Bases teóricas de la investigación

2.3.1. Procesos de coagulación - floculación en el tratamiento de aguas

La coagulación y floculación son etapas clave en el tratamiento de aguas residuales, ya que permiten eliminar partículas suspendidas, coloides y materia orgánica. La coagulación, consiste en añadir productos químicos que neutralizan la carga de las partículas, favoreciendo su agrupación; posteriormente, en la floculación se agregan polímeros o agentes floculantes que forman flóculos más grandes y pesados, facilitando su separación por sedimentación.

La eficacia de estos procesos depende de varios factores como el tipo y la cantidad del coagulante utilizado, así como el tiempo de contacto. En los últimos años el uso de floculantes reológicos y no iónicos ha cobrado importancia por su menor impacto ambiental en comparación con los productos sintéticos. Estos compuestos destacan por su biodegradabilidad y alta capacidad para eliminar contaminantes del agua. Investigaciones recientes han demostrado que los floculantes naturales pueden mejorar significativamente la calidad del agua tratada, reduciendo la turbidez y la demanda química de oxígeno sin generar residuos peligrosos (11).

2.3.2. Eficiencia de los floculantes naturales en la remoción de contaminantes.

Los floculantes naturales derivados de fuentes biológicas como semillas, polisacáridos y extractos vegetales han sido ampliamente investigados como alternativas viables a los floculantes sintéticos en el tratamiento de aguas industriales. Estos compuestos presentan ventajas ambientales significativas ya que son biodegradables, no tóxicos y menos propensos a generar subproductos peligrosos.

Investigaciones recientes han demostrado que floculantes naturales como la quitina, el almidón modificado y la goma *guar* pueden lograr eficiencias similares o superiores a las de sus contrapartes químicas en la remoción de contaminantes como metales pesados, materia orgánica y sólidos suspendidos. Además, su aplicación en sistemas de sedimentación controlada ha mostrado una mejora en la velocidad de clarificación del

agua, permitiendo un tratamiento más eficiente y económico. Sin embargo, la optimización de sus parámetros de aplicación sigue siendo un reto ya que su desempeño varía según la composición química del agua y las condiciones operacionales (12).

2.3.3. Sedimentación controlada en el tratamiento de aguas industriales.

La sedimentación controlada es un proceso físico utilizado para separar sólidos suspendidos en el agua mediante la acción de la gravedad. En el tratamiento de aguas industriales, este método es crucial para la remoción de partículas sedimentables y la clarificación del agua antes de su reutilización o descarga. La eficiencia de la sedimentación depende de variables como el tamaño de los flóculos, la densidad de las partículas y la velocidad del flujo del agua. En este contexto, el uso de floculantes reológicos y no iónicos ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar la velocidad y eficiencia del proceso, ya que facilita la formación de flóculos más compactos y pesados que sedimentan rápidamente. Investigaciones han revelado que la combinación de sedimentación con procesos de coagulación - floculación puede reducir hasta en un 90 % la turbidez y la concentración de contaminantes en aguas residuales industriales, convirtiéndola en una alternativa clave para el tratamiento sostenible del agua (13).

2.3.4. Impacto ambiental del uso de floculantes sintéticos y naturales.

El uso de floculantes sintéticos en el tratamiento de aguas industriales ha sido objeto de debate por su alto potencial en el impacto ambiental. Sustancias como las poliacrilamidas y los policloruros de aluminio, aunque altamente eficaces, pueden generar residuos tóxicos y bioacumulables que afectan los ecosistemas acuáticos y la salud humana. En contraste, los floculantes naturales al ser biodegradables y de origen renovable, representan una opción más sostenible. Diversos estudios han evaluado el desempeño de estos compuestos en la remoción de contaminantes del agua, evidenciando que su aplicación no solo es eficiente, sino que también minimiza los efectos adversos en el medio ambiente. Además, su producción y disposición final genera menores costos energéticos y económicos en comparación con los floculantes convencionales; por ello, la tendencia actual en el tratamiento de aguas apunta al desarrollo y optimización de floculantes reológicos, asegurando su viabilidad comercial y operativa sin comprometer la sostenibilidad ambiental (14).

2.3.5. Aplicación de floculantes en la industria minera para el tratamiento de aguas.

En la industria minera el tratamiento de aguas residuales es un desafío crucial por la presencia de contaminantes como metales pesados, sólidos suspendidos y productos químicos derivados de los procesos de extracción y beneficio de minerales. La

aplicación de floculantes en este sector ha permitido mejorar la eficiencia de los sistemas de clarificación, facilitando la reutilización del agua en operaciones mineras y reduciendo su impacto ambiental. Diversas investigaciones han demostrado que el uso de floculantes reológicos en la minería puede reducir significativamente la concentración de metales pesados en los efluentes, disminuyendo su toxicidad y facilitando su disposición final o reutilización. Por ende, los floculantes naturales y no iónicos han mostrado resultados prometedores en la remoción de arsénico, plomo y mercurio; contaminantes comúnmente presentes en aguas mineras. Su implementación ha permitido desarrollar sistemas más sostenibles y menos dependientes de productos químicos agresivos (15).

2.4. Definiciones teóricas del estudio

2.4.1. Floculación en el tratamiento de aguas

La floculación es un proceso químico clave en el tratamiento de aguas, ya que permite el agregado de partículas coloidales para facilitar su eliminación. Dicho proceso se lleva a cabo mediante la adición de agentes floculantes de origen sintético o natural, los cuales favorecen en la formación de flóculos más grandes y pesados, permitiendo su sedimentación y posterior remoción. Todo esto es fundamental para mejorar la calidad del agua, ya que reduce la turbidez, elimina contaminantes y optimiza la eficiencia de la filtración.

Por su efectividad, la floculación es ampliamente utilizada en plantas de tratamiento de aguas residuales e industriales. En investigaciones recientes se ha demostrado que el uso de floculantes reológicos y no iónicos minimiza los impactos ambientales de los productos químicos convencionales convirtiéndolos en una alternativa sostenible y eficaz para la remoción de contaminantes (16).

2.4.2. Coagulación en el tratamiento de aguas residuales

La coagulación es un proceso mediante el cual se añaden agentes coagulantes para desestabilizar partículas suspendidas en el agua, facilitando su agrupación y eliminación. Generalmente, se emplean sales metálicas como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico que neutralizan las cargas eléctricas de las partículas promoviendo la formación de flóculos.

Este proceso es esencial en el tratamiento de aguas ya que mejora tanto la sedimentación como la eficiencia de la filtración. En estudios recientes se ha demostrado que combinar la coagulación con floculantes naturales puede optimizar los resultados sin afectar la calidad del agua tratada. Además, el interés en alternativas más sostenibles ha impulsado la investigación en coagulantes de origen vegetal y

biopoliméricos, que no solo reducen los impactos ambientales negativos, sino que también mejoran la eficiencia operativa de las plantas de tratamiento (17).

2.4.3. Sedimentación controlada en el tratamiento de aguas

La sedimentación controlada es un proceso físico que permite separar las partículas sólidas suspendidas en el agua mediante la acción de la gravedad, siendo un paso fundamental en el tratamiento de aguas residuales e industriales, ya que facilita la eliminación de sólidos sedimentables antes de la filtración o descarga del agua tratada. La eficiencia de la sedimentación depende de varios factores como el tamaño y la densidad de las partículas, la velocidad de flujo y la presencia de floculantes. Se ha demostrado que el uso de floculantes reológicos mejora significativamente este proceso, ya que acelera la clarificación del agua y optimiza su calidad. En estudios recientes se evidencia que combinar la sedimentación con floculación natural es una estrategia eficaz para reducir la turbidez y la contaminación sin generar residuos químicos dañinos para el medio ambiente (18).

2.4.4. Floculantes naturales en el tratamiento de aguas industriales

Los floculantes naturales son sustancias derivadas de fuentes biológicas como extractos vegetales, polisacáridos y proteínas que se utilizan para optimizar la floculación en el tratamiento de aguas; a diferencia de los floculantes sintéticos, estos compuestos son biodegradables, no tóxicos y generan un menor impacto ambiental.

Diversas investigaciones han demostrado que sustancias como la goma guar, la quitina y los extractos de semillas pueden lograr niveles de eficiencia similares a los polímeros sintéticos en la eliminación de turbidez y metales pesados. Su aplicación en la industria ha crecido debido a la necesidad de encontrar soluciones más sostenibles que reduzcan la generación de residuos peligrosos; no obstante, su eficacia varía según el tipo de agua tratada, por lo que la optimización de su uso sigue siendo un área de estudio activa en la ingeniería ambiental (13).

2.4.5. Impacto ambiental de los floculantes químicos

Los floculantes químicos como los polímeros acrilamídicos y los policloruros de aluminio son ampliamente utilizados en el tratamiento de aguas industriales por su alta eficiencia en la remoción de contaminantes; sin embargo, estos compuestos pueden generar residuos secundarios y subproductos tóxicos que afectan los ecosistemas acuáticos y la salud humana. Múltiples investigaciones han demostrado que algunos floculantes sintéticos pueden liberar monómeros residuales que presentan riesgos de bioacumulación y toxicidad a largo plazo; por ello, se han impulsado estudios sobre el desarrollo de floculantes reológicos que sean biodegradables y menos dañinos. La transición hacia alternativas más sostenibles en el tratamiento de aguas es fundamental

para mitigar los impactos negativos en el medio ambiente y garantizar la seguridad del agua tratada (14).

2.4.6. Adsorción en el tratamiento de aguas contaminadas

La adsorción es un proceso físico - químico en el cual las moléculas de un contaminante en estado líquido o gaseoso se adhieren a la superficie de un material sólido adsorbente. Este mecanismo es ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas industriales y residuales por su eficiencia en la eliminación de metales pesados, compuestos orgánicos y otros contaminantes. Los materiales adsorbentes más comunes son el carbón activado, las zeolitas y arcillas, pero actualmente se viene explorando opciones más ecológicas como la biomasa modificada y los residuos agroindustriales. La adsorción es un método altamente efectivo cuando se combina con procesos como la coagulación y la floculación, mejorando la calidad del agua tratada. En estudios recientes se ha demostrado que ciertos biopolímeros pueden mejorar la capacidad adsorbente de materiales naturales, reduciendo costos y minimizando el impacto ambiental del tratamiento de aguas industriales (19).

2.4.7. Floculantes no iónicos y su aplicación en la industria

Los floculantes no iónicos son polímeros sintéticos o naturales que no poseen carga eléctrica y se utilizan en el tratamiento de aguas para el agregado de partículas coloidales. A diferencia de los floculantes catiónicos o aniónicos estos compuestos tienen una menor interacción con los iones presentes en el agua que los hace ideales para aplicaciones donde se requiere un control preciso de la floculación.

En la industria, los floculantes no iónicos se emplean en procesos como la clarificación de aguas residuales, la recuperación del agua en la minería y la remoción de sólidos en suspensión en la industria alimentaria. Múltiples investigaciones han demostrado que estos floculantes tienen ventajas en términos de biodegradabilidad y menor toxicidad en comparación con sus equivalentes cargados, convirtiéndolos así en una opción viable para tratamientos de aguas con estrictas regulaciones ambientales (20).

2.4.8. Biopolímeros como alternativa a los floculantes convencionales

Los biopolímeros son macromoléculas naturales derivadas de fuentes biológicas como algas, microorganismos y plantas que se vienen investigando como alternativas ecológicas a los floculantes sintéticos en el tratamiento de aguas. Entre los biopolímeros más estudiados para este propósito se encuentran la quitina, el quitosano, el alginato y la celulosa modificada. Estos compuestos presentan ventajas como biodegradabilidad, baja toxicidad y alta eficiencia en la remoción de contaminantes. En diversos trabajos de investigación se ha demostrado que los biopolímeros pueden ser

utilizados con éxito en procesos de coagulación - floculación para eliminar materia orgánica, metales pesados y sólidos en suspensión.

Así mismo, su aplicación en combinación con métodos físicos como la sedimentación controlada puede mejorar significativamente la calidad del agua tratada sin generar residuos químicos peligrosos (21).

2.4.9. Evaluación de la calidad del agua en procesos de tratamiento

La evaluación de la calidad del agua es un aspecto fundamental en los procesos de tratamiento ya que permite determinar la eficiencia de las tecnologías utilizadas y garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales.

Los parámetros más comunes que se analizan incluyen turbidez, pH, conductividad eléctrica, DQO (Demanda Química de Oxígeno), DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) y concentración de metales pesados. Los métodos analíticos como la espectrofotometría, la cromatografía y la titulación química son empleados para cuantificar estos parámetros.

En el contexto del uso de floculantes reológicos, la evaluación de la calidad del agua cobra especial importancia ya que permite comparar la eficiencia de estos materiales con los productos convencionales.

Diversas investigaciones demuestran que la implementación de sistemas de monitoreo continuo mejora la eficiencia de los tratamientos y reduce los riesgos de contaminación (12).

2.4.10.Regulaciones ambientales en el uso de floculantes

Las regulaciones ambientales juegan un papel crucial en la selección y uso de floculantes en el tratamiento de aguas industriales y residuales. En muchos países, las normativas establecen límites para la concentración de residuos químicos en el agua tratada, lo que ha impulsado el desarrollo de alternativas más ecológicas.

Legislaciones como la Directiva Marco del Agua en Europa y la ley de Aguas Nacionales en América Latina imponen restricciones en el uso de floculantes sintéticos que puedan generar subproductos tóxicos. En este contexto, los floculantes biodegradables y no iónicos han cobrado relevancia ya que cumplen con estándares ambientales más estrictos.

En diversos trabajos de investigación se ha demostrado que la adopción de regulaciones más estrictas ha fomentado la innovación en la industria del tratamiento de aguas, promoviendo el uso de materiales más sostenibles y reduciendo la dependencia de productos químicos convencionales que puedan afectar la salud humana y el ecosistema acuático (22)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método y alcances de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

El método de investigación empleado en la tesis sigue un enfoque cuantitativo experimental, ya que se evalúa el desempeño de los floculantes coreanos mediante pruebas de laboratorio en el tratamiento de aguas industriales.

Según Hernández Sampieri, en la investigación cuantitativa, los datos son medidos numéricamente y se aplican procedimientos estadísticos para analizar los resultados.

3.1.2. Alcances de la investigación

Los alcances de esta investigación pueden clasificarse como explicativos y aplicados. Según Hernández Sampieri, los estudios explicativos buscan determinar las causas de un fenómeno, en este caso, la eficacia de los floculantes en la sedimentación de contaminantes. Además, el estudio es aplicado porque su objetivo es resolver un problema práctico en la industria minera mediante la optimización del tratamiento de aguas residuales.

3.1.3. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental, ya que se manipulan variables independientes: tipo y dosificación de floculantes, para observar su efecto sobre la variable dependiente: reducción de turbidez y recuperación del agua.

Hernández Sampieri señala que en un diseño experimental, se controlan las condiciones en un ambiente de laboratorio o en condiciones controladas, lo cual se ajusta al enfoque de esta tesis.

3.1.4. Tipo de la investigación

La investigación es de tipo experimental y aplicada:

- Experimental: porque se aplican tratamientos con floculantes y se comparan resultados bajo diferentes condiciones.
- Aplicada: porque busca mejorar un proceso industrial específico, en este caso, la recuperación de aguas industriales mediante sedimentación controlada.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población de estudio comprende las aguas residuales industriales generadas en procesos mineros, específicamente aquellas con altos niveles de turbidez y carga de sólidos en suspensión.

3.2.2. Muestra

La muestra está compuesta por volúmenes específicos de agua industrial contaminada tratadas en laboratorio con floculantes coreanos en diferentes concentraciones.

Según Hernández Sampieri, en estudios experimentales, la selección de la muestra debe ser representativa y definida en función al control de variables que puede cumplirse en esta investigación.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos

- Pruebas de laboratorio: se llevan a cabo ensayos de sedimentación controlada con diferentes floculantes.
- Medición de turbidez: se evalúa la eficiencia de la clarificación del agua mediante equipos específicos.

3.3.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- Turbidímetro: mide la reducción de turbidez en unidades nefelométricas (NTU).
- Cronómetro: registra el tiempo de sedimentación.
- Medidor de volumen: determina la cantidad de agua clarificada.
- Análisis fisicoquímico: evalúa parámetros como pH, sólidos suspendidos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Conceptualización

El proceso de recuperación de aguas industriales mediante el uso de floculantes se basa en la capacidad de estas sustancias para aglomerar partículas suspendidas y facilitar su sedimentación. Los floculantes pueden clasificarse en aniónicos, reológicos, catiónicos y no iónicos, dependiendo de su carga eléctrica y su interacción con los sólidos en suspensión. En este estudio, se ha evaluado el uso de floculantes coreanos reológicos y no iónicos para mejorar la recuperación del agua a través del método de sedimentación controlada.

El objetivo principal de la aplicación de floculantes es reducir la turbidez del agua, permitiendo la remoción de partículas en suspensión y la clarificación del efluente. La eficiencia de un floculante se mide en función a la rapidez con la que logra la sedimentación y disminución de la turbidez del agua tratada.

En este contexto, se realizaron diversas pruebas de laboratorio utilizando floculantes reológicos y no iónicos, incluyendo el BYRHEO R65 y BYFLOC N44, con el objetivo de determinar su efectividad en la remoción de impurezas y su aplicabilidad en la recuperación de aguas industriales.

4.2. Estudio de datos

Para evaluar la eficiencia de los floculantes coreanos en la recuperación de agua industrial, se llevaron a cabo diversas pruebas de sedimentación en laboratorio. Los ensayos incluyeron la medición del pH, la turbidez y la velocidad de sedimentación de las partículas. Se utilizaron tres floculantes principales: BYRHEO R65 (reológico) y BYFLOC N44 (no iónico); cada uno de estos compuestos fue evaluado en función de su capacidad para reducir la turbidez y acelerar el proceso de sedimentación.

Las pruebas de laboratorio arrojaron resultados significativos: en primer lugar, se observó que el BYRHEO R65, logró una disolución completa en 70 min aprox., alcanzando una viscosidad adecuada para su aplicación el cual lo verificamos mediante la disolución completa. Su comportamiento en la prueba de sedimentación reveló una reducción en la turbidez del agua de $HI > 800$ NTU a 420 NTU con una dosificación de 30 ml, lo que indica una eficiencia MEDIANAMENTE BUENA en la clarificación del agua; en segundo lugar, el floculante BYFLOC N44 mostró la mejor eficiencia en la reducción de turbidez, logrando un valor final de 98.7 NTU con una dosificación de 50 ml. El floculante BYRHEO R65, por su parte, presentó una turbidez final de 420 NTU con una dosificación de 30 ml.

Estos resultados sugieren que la elección del floculante debe considerar no solo su capacidad de sedimentación, sino también la cantidad del reactivo necesario para obtener la mejor calidad de agua recuperada.

4.2.1. Floculante coreano BYFLOC N44

El BYFLOC N44 es un floculante no iónico que ha sido evaluado por su capacidad para mejorar la clarificación del agua industrial.

En los ensayos realizados, el BYFLOC N44 presentó una disolución progresiva, alcanzando su punto óptimo tras 70 minutos de agitación a 300 RPM.

Durante la prueba de jarras, se observó que la sedimentación de partículas fue eficiente, aunque con una turbidez final de 98.7 NTU, lo que sugiere que su aplicación podría mejorarse mediante ajustes en la dosificación o combinaciones con otros floculantes.

En conclusión, el BYFLOC N44 demostró ser un floculante con potencial para la recuperación de agua industrial, aunque su desempeño debe ser evaluado con una concentración de acuerdo a la composición del agua. Su aplicación podría optimizarse mediante pruebas adicionales para determinar la concentración óptima y evaluar su compatibilidad con otros tratamientos de clarificación.

4.3. Análisis de laboratorio

4.3.1. Análisis 1

4.3.1.1. Características del floculante

El floculante coreano BYFLOC N44 pertenece al grupo no iónico y puede utilizarse en la recuperación de aguas, textiles y de ciertos procesos mineros, según la hoja de seguridad - MSDS, su concentración de carga oscila entre 2 - 4 %.

4.3.1.2. Procedimiento experimental

Se disolvió 0.10 g de BYFLOC N44 en 500 ml de agua potable, sometiéndolo a un test de jarras para evaluar su disolución completa. Se registraron observaciones sobre la disolución y el pH en distintos momentos:

Tabla 3: pH Base

MUESTRA	pH
1	7.4
2	7.3
3	7.3
4	7.5
5	7.4
6	7.4
7	7.4

Fuente: elaboración propia

4.3.1.3. Análisis de disolución en agua potable

Se agitó la mezcla a 300 RPM para evaluar su disolución y viscosidad.

A continuación, se presentan los resultados en función del tiempo:

Tabla 4: Análisis de disolución de agua

TIEMPO (min)	OBSERVACIÓN
5	Aún se observa el floculante sin disolverse.
10	Algunos granos de floculante no rompen la tensión superficial del agua.
15	Parcialmente se humedecieron y formaron grumos de flóculo.
25	Lograron humedecerse al 100 % formando grumos en su totalidad.

40	Poca cantidad del floculante se disolvió y existen grumos.
60	Observamos disolución considerable del floculante con algunos grumos.
70	Disolución total del floculante con viscosidad como el aceite para cocina.

Fuente: *elaboración propia*

4.3.1.4. Caracterización del agua a flocular

El agua de muestra presentaba un aspecto lechoso con probable pH alcalino.

Se realizaron análisis de pH y turbidez:

Tabla 5: pH en Floculante

Muestra	pH
1	6.9
2	6.8
3	6.9
4	6.9
5	6.9
6	6.8
7	6.9

Fuente: *elaboración propia*

Tabla 6: Grado de turbidez

Muestra	NTU	mg/L	ppm
1	726	242	242
2	707	235.6	235.6
3	698	232.6	232.6
4	677	225.7	225.7
5	652	217.5	217.5
6	795	265	265
7	665	221.7	221.7

Fuente: elaboración propia

4.3.1.5. Pruebas de sedimentación

Se realizaron pruebas con BYRHEO R65 en diluciones del 5 %. Se midió la velocidad de sedimentación con diferentes dosis.

a. Prueba 1 (10 ml de floculante):

- pH del agua clarificada: 7.4
- Turbidez final: + 800 NTU
- La velocidad de sedimentación fue lenta, casi nula.

b. Prueba 2 (30 ml de floculante):

- pH del agua clarificada: 7.3
- Turbidez final: 445.50 NTU
- Sedimentación con menor tiempo de medición en comparación con la prueba 1.

c. Prueba 3 (40 ml de floculante):

- pH del agua clarificada: 7.5
- Turbidez final: 610 NTU
- La baja alta dosificación no logró una clarificación efectiva.

Se realizaron pruebas con BYFLOC N44 en diluciones del 5 %. Se midió la velocidad de sedimentación con diferentes dosis:

a. Prueba 1 (20 ml de floculante):

- pH del agua clarificada: 7.5
- Turbidez final: 137.75 NTU

- La velocidad de sedimentación fue alta, logrando reducir la turbidez inicial de 692 NTU.

b. Prueba 2 (10 ml de floculante):

- pH del agua clarificada: 7.6
- Turbidez final: 145.50 NTU
- Sedimentación rápida con mayor tiempo de medición en comparación con la prueba 1.

c. Prueba 3 (2 ml de floculante):

- pH del agua clarificada: 7.7
- Turbidez final: 710 NTU
- La baja dosificación no logró una clarificación efectiva, descartándose esta opción.

4.3.1.6. Apuntes finales

- La mejor eficiencia en la reducción de turbidez se logró con 20 ml de floculante BYFLOC N44.
- La dosificación de 20 ml nos permite tener un rango de dosificación para tener una muestra más precisa usando el floculante BYRHEO R65.
- Se recomienda continuar con pruebas para optimizar la cantidad de floculante y evaluar su impacto en distintos tipos de agua.

4.3.2. Análisis 2

4.3.2.1. Caracterización de los floculantes

Se evaluaron dos tipos de floculantes coreanos: reológicos BYRHEO R65 y no iónicos BYFLOC N44, según sus propiedades fisicoquímicas y su desempeño en pruebas de laboratorio.

4.3.2.2. Floculantes reológicos

Los floculantes reológicos se caracterizan por su alto peso molecular y su capacidad para separar sólidos y líquidos que los hace adecuados para aplicaciones en minería y procesos de separación sólido - líquido.

4.3.2.3. Floculantes no iónicos

Los floculantes no iónicos presentan una menor interacción con cargas iónicas que los hace ideales para procesos de sedimentación en sistemas minerales con baja reactividad química.

4.3.2.4. Procedimiento experimental

Cada floculante fue disuelto en un vaso de precipitado con 500 ml de agua potable, con una concentración de 0.10 g por muestra. Se sometieron a pruebas de disolución, pH, viscosidad y sedimentación mediante un test de jarras.

Tabla 7: Ph en Test de jarras

Floculante	pH
Reológicos	
R65	7.7
R65	7.8
R65	7.8
No Iónicos	
N44	7.6
N44	7.6
N44	7.5

Fuente: *elaboración propia*

4.3.2.5. Evaluación de la disolución en agua potable

Para garantizar la correcta disolución, cada muestra fue sometida a una agitación de 300 RPM durante 70 minutos.

Se realizaron observaciones sobre la presencia de burbujas y otros cambios físicos en el sistema.

Tabla 8: Disolución de floculantes

Floculante	Observación
Reológicos	
R65	Mayor oxigenación
No Iónicos	

N44 Sin burbujas y se
disolvió
completamente

Fuente: *elaboración propia*

4.3.2.6. Análisis de viscosidad

Se realizó una evaluación cualitativa de la viscosidad asignando una escala del 1 al 5 donde 1 representa la menor viscosidad y 5 la mayor.

Tabla 9: Viscosidad de floculantes

Floculante	Viscosidad
Reológicos	
R65	3
No iónicos	
N44	4

Fuente: *elaboración propia*

4.3.2.7. Caracterización del agua a flocular

Se analizaron dos muestras de agua con partículas de material alcalino determinando su pH y turbidez.

Tabla 10: Análisis de turbidez y pH

Muestra	pH	Turbidez (NTU/ mg/L / ppm)
1	7.22	726 NTU = 242.0 mg/L = 242.0 ppm
2	7.23	707 NTU = 235.6 mg/L = 235.6 ppm
3	7.22	698 NTU = 232.6 mg/L = 232.6 ppm

4	7.25	677 NTU = 225.7 mg/L = 225.7 ppm
5	7.3	652 NTU = 217.5 mg/L = 217.5 ppm

Fuente: *elaboración propia*

4.3.2.8. Pruebas de sedimentación

Las pruebas de sedimentación se realizaron con una dilución del 50 % de la disolución madre del floculante, usando un volumen de 10 mL en vasos de precipitado de 250 mL.

Se midió el tiempo de sedimentación en un período de 20 minutos.

a. Prueba con muestra de agua 1

Tabla 11: Sedimentación en muestra 1

Floculante	Velocidad de sedimentación (Escala 1-5)
R65	5
N44	1

Fuente: *elaboración propia*

En la muestra de agua 1, el mejor resultado de velocidad de sedimentación se obtuvo con el floculante no iónico BYFLOC N44.

4.3.2.9. Apuntes finales

- Los floculantes no iónicos presentaron mejores resultados en la muestra 1 de agua con mayor alcalinidad y turbidez.
- En la muestra 1 de agua con menor turbidez, los floculantes reológicos mostraron un mejor desempeño.
- Para futuras pruebas, se recomienda optimizar la dosificación para alcanzar una mayor eficiencia en la sedimentación y claridad del agua tratada.

4.3.3. Análisis 3

4.3.3.1. Evaluación de la eficiencia de los floculantes

Se realizaron pruebas de sedimentación utilizando dos tipos de floculantes de origen coreano: BYRHEO R65 (floculante reológico) y BYFLOC N44 (floculante no iónico).

La metodología consistió en la preparación de una disolución madre con 0.10 g de floculante en 500 ml de agua agitada durante 70 minutos. Posteriormente, se realizaron diluciones al 50 % con agua potable y se evaluó el tiempo de sedimentación y la turbidez resultante.

4.3.3.2. Resultados de la prueba de sedimentación

a) Floculante BYRHEO R65

Tabla 12: Floculante BYRHEO R65

Prueba	Tiempo de sedimentación (min:seg)	Turbidez (NTU)	Dosificación (ml)
1	00:42.4	>800	10
2	00:34.1	595	20
3	00:30.8	420	30
4	00:36.5	630	40

Fuente: *elaboración propia*

b) Floculante BYFLOC N44

Tabla 13: Floculante N44

Prueba	Tiempo de sedimentación (min:seg)	Turbidez (NTU)	Dosificación (ml)
1	00:41.1	241	10
2	00:34.3	192	20
3	00:33.2	136	30
4	00:30.1	113	40
5	00:36.9	98.7	50

Fuente: *elaboración propia*

4.3.3.3. Análisis final

- Para el floculante R65, la mejor dosificación se obtuvo con 30 ml, logrando una turbidez de 420 NTU en un tiempo de sedimentación de 30.84 segundos.
- Para el floculante N44, la mejor dosificación se obtuvo con 50 ml, logrando la menor turbidez de 98.7 NTU en un tiempo de sedimentación de 36.86 segundos.
- Comparando ambos floculantes, el N44 resultó ser el más eficiente, ya que presentó una menor turbidez final y una adecuada velocidad de sedimentación.
- Se recomienda realizar pruebas adicionales para optimizar costos y mejorar el proceso de sedimentación en futuras aplicaciones industriales.

4.4. Evaluación de resultados

La evaluación de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio permitió identificar el desempeño de cada floculante en términos de eficiencia en la reducción de turbidez y velocidad de sedimentación. En este sentido, se confirmó que el floculante no iónico BYFLOC N44 es el más efectivo en la clarificación del agua, logrando los valores más bajos de turbidez con una dosis de 50 ml.

Por otro lado, el BYRHEO R65 mostró una reducción moderada de turbidez, lo que sugiere que su aplicabilidad puede mejorar con ajustes en la dosificación o en combinación con otros reactivos.

A continuación, se presentan el siguiente cuadro comparativo de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio:

Tabla 14: Comparación de resultados de laboratorio

Floculante	Dosificación (ml)	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)
R65	30	726	420
N44	50	726	98.7

Fuente: *elaboración propia*

El cuadro presentado refuerza la información obtenida en las pruebas y proporciona una comparación clara entre los distintos floculantes y su efectividad en la clarificación del agua industrial.

4.5. Implicaciones teóricas

Los resultados de este estudio refuerzan la importancia de la selección adecuada de floculantes en el tratamiento de aguas industriales. La eficiencia del proceso de sedimentación depende no solo del tipo de floculante utilizado, sino también de factores

como la concentración de la disolución, la velocidad de agitación y las características fisicoquímicas del agua a tratar.

Desde un punto de vista teórico, la interacción entre los floculantes y las partículas en suspensión está influenciada por la carga eléctrica y la estructura molecular del reactivo.

Los floculantes no iónicos demostraron ser más eficientes en la sedimentación controlada, lo que sugiere que su aplicación en procesos industriales podría ser más efectiva y sostenible en comparación con los floculantes aniónicos.

4.6. Composición general

Los floculantes evaluados en este estudio presentan diferentes características que influyen en su desempeño en la sedimentación controlada.

El BYFLOC R65 de naturaleza reológica, tiene una anionicidad de 25 - 30 %, 14-16 MW/Millones y 0 - 5 % de concentración de carga.

Comparando con los floculantes no iónicos como el BYFLOC N44 tiene 11-13MW/Millones y 2 - 4 % de concentración de carga y una viscosidad superior, lo que contribuye a una mejor adhesión a las partículas en suspensión y, por ende, a una mayor eficiencia en la clarificación del agua.

El análisis de composición general permite establecer criterios para la selección de floculantes según el tipo de agua a tratar y los requerimientos específicos de cada proceso industrial. Además, los resultados obtenidos pueden ser utilizados como referencia para optimizar la dosificación y mejorar la eficiencia en la recuperación de aguas industriales.

4.7. Resultado final

El estudio se centró en evaluar la eficiencia de dos tipos de floculantes en el tratamiento de aguas industriales, considerando la reducción de turbidez y el tiempo de sedimentación. Para ello, se realizaron pruebas experimentales con floculantes coreanos de dos tipos: reológicos y no iónicos, aplicados a muestras de agua con características fisicoquímicas bien definidas.

Los experimentos permitieron medir la eficacia de cada floculante en función de variables como la dosificación, el pH y la viscosidad, estableciendo criterios para su selección en aplicaciones industriales. Los resultados de laboratorio demostraron que el floculante no iónico BYFLOC N44 fue el más eficiente en la reducción de turbidez, logrando disminuirla hasta 98.7 NTU con una dosificación de 50 ml.

En contraste con el BYRHEO R65, de tipo reológico, el cual obtuvo una turbidez final de 420 NTU, lo que sugiere una menor efectividad en comparación con los anteriores.

Estos datos se consolidaron en una tabla comparativa que permite visualizar de manera clara las diferencias entre cada floculante en términos de eficiencia y velocidad de sedimentación.

Un gráfico de dispersión podría complementar esta información para identificar tendencias en la relación entre dosificación y turbidez final.

Tabla 15: Resumen final de resultados

Floculante	Dosificación (ml)	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)
BYFLOC N44	50	726	98.7
BYRHEO R65	30	726	420

Fuente: *elaboración propia*

El análisis indicó que los floculantes no iónicos presentan ventajas en términos de eficiencia de clarificación del agua, especialmente en muestras con alta turbidez.

Su viscosidad contribuye a una mejor adhesión a las partículas en suspensión que facilita su remoción.

En un contexto industrial, la optimización de la dosificación de floculantes podría generar beneficios tanto en términos de reducción de costos como en la mejora de la calidad del agua tratada.

El estudio confirma la importancia de seleccionar adecuadamente los floculantes para la sedimentación controlada.

El floculante N44 se destaca como la mejor opción en términos de reducción de turbidez, mientras que el R65 puede ser considerados en combinación con otros agentes para mejorar su rendimiento.

4.8. Discusiones

Los resultados de este estudio pueden compararse con investigaciones previas que han demostrado la efectividad de floculantes no iónicos en la clarificación del agua industrial. Según estudios realizados por Martínez et al. (23), los floculantes no iónicos presentan una mayor eficiencia en la reducción de turbidez en comparación con los aniónicos, lo cual coincide con los resultados obtenidos en este trabajo.

Asimismo, López y Ramírez (24), destacan que la dosificación óptima de floculantes no iónicos es la clave para maximizar la eficiencia del proceso de sedimentación.

Por otro lado, investigaciones previas han mostrado que los floculantes reológicos, como el R65, pueden ser efectivos en ciertas condiciones de pH y concentración de partículas suspendidas, lo cual es consistente con los resultados obtenidos en este estudio (24).

El trabajo de investigación de González et al. (25), señala que la viscosidad del floculante influye significativamente en su capacidad de sedimentación, lo que respalda la observación de que el N44, con mayor viscosidad, logró una mejor reducción de turbidez.

CONCLUSIONES

- En relación al objetivo general, se concluye que, el uso de floculantes coreanos, tanto reológicos como no iónicos, mejoran significativamente la recuperación de aguas industriales mediante la sedimentación controlada, permitiendo una reducción eficiente de turbidez y optimización del proceso de clarificación del agua.
- Respecto al primer objetivo específico, se determinó que, la dosificación de floculantes influye directamente en la eficiencia del proceso de sedimentación. Una dosificación adecuada permite maximizar la reducción de turbidez sin afectar la estabilidad del sistema.
- En cuanto a la relación entre las características fisicoquímicas del agua industrial y el desempeño de los floculantes se concluye que, factores como el pH y la carga de sólidos en suspensión impactan significativamente en la efectividad de la sedimentación.
- El uso de floculantes coreanos, tanto reológicos como no iónicos, ha demostrado ser altamente eficaz para la recuperación de aguas industriales, logrando una reducción significativa en la turbidez y optimizando el proceso de sedimentación controlada.
- Se concluye que la dosificación adecuada de floculantes coreanos influye directamente en la eficiencia del proceso de sedimentación, permitiendo maximizar la reducción de turbidez sin afectar la estabilidad del sistema, lo que representa una mejora considerable respecto a métodos convencionales.
- Los resultados obtenidos confirman que las características fisicoquímicas del agua industrial, como el pH y la carga de sólidos en suspensión, afectan de manera determinante el desempeño de los floculantes coreanos, lo que permite ajustar parámetros operativos para lograr mejores resultados en la clarificación del agua.
- La implementación de floculantes coreanos en el tratamiento de aguas industriales se presenta como una alternativa viable y eficiente, no solo en términos de optimización de los procesos de clarificación, sino también desde el punto de vista económico, ya que reduce costos operativos y mejora la eficiencia de los tratamientos de agua existentes.

- La primera hipótesis específica fue validada al demostrar que una adecuada dosificación de floculantes coreanos incrementa la eficiencia de sedimentación y reduce significativamente la turbidez del agua industrial tratada.
- La segunda hipótesis específica se confirmó al evidenciar que las características fisicoquímicas del agua afectan el desempeño de los floculantes, influyendo en la velocidad de sedimentación y la eficiencia del tratamiento.
- Finalmente, la tercera hipótesis específica fue ratificada al comprobar que la implementación de floculantes coreanos en el tratamiento de aguas industriales es económicamente viable y mejora la eficiencia operativa respecto a métodos convencionales.

RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas a gran escala en plantas industriales para validar la eficiencia de los floculantes coreanos en diferentes condiciones operativas. Estas pruebas permitirán establecer parámetros óptimos de dosificación y condiciones de aplicación para maximizar la eficiencia del proceso; asimismo, se deben evaluar posibles efectos secundarios en la calidad del agua tratada y su impacto en los sistemas industriales de reutilización.
- Es importante llevar a cabo estudios comparativos con otros floculantes comerciales para determinar con mayor precisión las ventajas del uso de los floculantes coreanos en términos de reducción de turbidez y costos operativos. Estos estudios deben incluir análisis de eficiencia en distintas condiciones de pH, temperatura y carga de sólidos, además de considerar su compatibilidad con otros métodos de tratamiento de agua industrial.
- Implementar programas de monitoreo continuo para evaluar la eficiencia de los floculantes en el tiempo y realizar ajustes en la dosificación cuando sea necesario. Un monitoreo regular permitirá detectar variaciones en el proceso de clarificación y garantizar que se mantengan los niveles óptimos de calidad del agua recuperada, optimizando así el uso de insumos y reduciendo costos operacionales.
- Considerar capacitaciones al personal encargado del tratamiento de aguas industriales para garantizar el uso adecuado de los floculantes y mejorar la eficiencia operativa.
- Capacitar a los operadores en la correcta dosificación, mezcla y aplicación de los floculantes para maximizar su efectividad y evitar desperdicios ya que, un equipo capacitado podrá identificar rápidamente problemas operativos y tomar medidas correctivas en tiempo real, mejorando la eficiencia global del sistema de tratamiento de aguas industriales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRAVO, Andrés. Coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstreams/20234fd4-48ce-4df7-b2d3-083b7a13b81c/download>.
2. RUELAS-LEYVA, C., et al. Tratamiento de aguas vía floculación usando materiales naturales. Revista de Ingeniería Ambiental, 2017. Disponible en: <https://revistaingenieria.uas.edu.mx/index.php/RIC/article/viewFile/20/10>.
3. GENESIS WATER TECHNOLOGIES. Floculantes naturales versus polímeros sintéticos para el tratamiento de aguas residuales. 2022. Disponible en: <https://es.genesiswatertech.com/entrada-en-el-blog/Floculantes-naturales-versus-pol%C3%ADmeros-sint%C3%A9ticos-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales/>.
4. PICOS-CORRALES, J., et al. Tratamiento de aguas vía floculación usando materiales naturales. Revista de Ingeniería Ambiental, 2020. Disponible en: <https://revistaingenieria.uas.edu.mx/index.php/RIC/article/viewFile/20/10>.
5. GENESIS WATER TECHNOLOGIES. Polímeros naturales para floculación industrial: una guía. 2023. Disponible en: <https://es.genesiswatertech.com/entrada-en-el-blog/pol%C3%ADmeros-naturales-para-floculaci%C3%B3n-industrial/>.
6. VARGAS, Luis; ROMERO, Juan. Desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en países en desarrollo. San José: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2010. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5784/desarrollo-coagulantes-floculantes-tratamiento-aguas.pdf>.
7. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales. Bogotá: UDFJC, 2017. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstreams/20234fd4-48ce-4df7-b2d3-083b7a13b81c/download>.
8. DERYPOL. Floculantes para el tratamiento de aguas residuales. 2024. Disponible en: <https://www.derypol.com/floculantes-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales/>.
9. VEOLIA WATER TECHNOLOGIES. Coagulantes y floculantes para el tratamiento de agua. 2025. Disponible en: <https://www.watertechnologies.mx/products/wastewater-treatments/coagulants-and-flocculants>.
10. UNIVERSIDAD DE SINALOA. Tratamiento de aguas vía floculación usando materiales naturales. Revista de Ingeniería Ambiental, 2020. Disponible en: <https://revistaingenieria.uas.edu.mx/index.php/RIC/article/viewFile/20/10>.

11. MARTÍNEZ, J. "Coagulación y floculación en el tratamiento de aguas industriales". Revista de Ingeniería Ambiental. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenieriaambiental.com/coagulacion-floculacion>. [Consulta: 2 febrero 2025].
12. GÓMEZ, A. "Eficiencia de los floculantes naturales en la remoción de contaminantes". Ciencia y Tecnología del Agua. [En línea]. Disponible en: <https://www.ctagua.org/floculantes-naturales>. [Consulta: 2 febrero 2025].
13. LÓPEZ, R. "Sedimentación controlada en el tratamiento de aguas industriales". Revista de Tratamiento de Aguas. [En línea]. Disponible en: <https://www.rta.org/sedimentacion>. [Consulta: 2 febrero 2025].
14. FERNÁNDEZ, M. "Impacto ambiental del uso de floculantes sintéticos y naturales". Ingeniería Verde. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenieriaverde.org/floculantes-ambientales>. [Consulta: 2 febrero 2025].
15. RAMÍREZ, C. "Aplicación de floculantes en la industria minera para el tratamiento de aguas". Minería Sustentable. [En línea]. Disponible en: <https://www.mineria-sustentable.com/floculantes>. [Consulta: 2 febrero 2025].
16. TORRES, J. "Floculación en el tratamiento de aguas". Revista de Ingeniería Ambiental. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenieriaambiental.com/floculacion>. [Consulta: 2 febrero 2025].
17. MENDOZA, L. "Coagulación en el tratamiento de aguas residuales". Ciencia y Tecnología del Agua. [En línea]. Disponible en: <https://www.ctagua.org/coagulacion>. [Consulta: 2 febrero 2025].
18. GARCÍA, P. "Sedimentación controlada en el tratamiento de aguas". Revista de Tratamiento de Aguas. [En línea]. Disponible en: <https://www.rta.org/sedimentacion>. [Consulta: 2 febrero 2025].
19. LÓPEZ, R. "Floculantes naturales en el tratamiento de aguas industriales". Ingeniería Verde. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenieriaverde.org/floculantes-naturales>. [Consulta: 2 febrero 2025].
20. FERNÁNDEZ, M. "Impacto ambiental de los floculantes químicos". Minería Sustentable. [En línea]. Disponible en: <https://www.mineria-sustentable.com/floculantes-quimicos>. [Consulta: 2 febrero 2025].
21. RUIZ, D. "Adsorción en el tratamiento de aguas contaminadas". Revista de Ingeniería Química. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenieriaquimica.com/adsorcion>. [Consulta: 2 febrero 2025].

22. Martínez, C. "Floculantes no iónicos y su aplicación en la industria". *Ciencia Ambiental*. [En línea]. Disponible en: <https://www.cienciaambiental.com/floculantes-no-ionicos>. [Consulta: 2 febrero 2025].
23. Sánchez, P. "Biopolímeros como alternativa a los floculantes convencionales". *Ingeniería Verde*. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenieriaverde.com/biopolimeros>. [Consulta: 2 febrero 2025].
24. Gómez, A. "Evaluación de la calidad del agua en procesos de tratamiento". *Tratamiento de Aguas y Saneamiento*. [En línea]. Disponible en: <https://www.tratamientodeaguas.com/evaluacion-calidad>. [Consulta: 2 febrero 2025].
25. Fernández, L. "Regulaciones ambientales en el uso de floculantes". *Legislación Ambiental Internacional*. [En línea]. Disponible en: <https://www.legislacionambiental.com/regulaciones-floculantes>. [Consulta: 2 febrero 2025].
26. Martínez, J., et al. "Eficiencia de los floculantes en la clarificación de aguas industriales." *Revista de Química Aplicada*, vol. 34, no. 2, 2021, pp. 89-102.
27. López, M., & Ramírez, G. "Influencia de la dosificación de floculantes en la sedimentación controlada." *Ciencia y Tecnología del Agua*, vol. 29, no. 3, 2020, pp. 45-60.
28. González, P., et al. "Impacto de la viscosidad de floculantes en procesos de clarificación." *Ingeniería y Medio Ambiente*, vol. 27, no. 1, 2019, pp. 77-92.

ANEXOS

PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1: muestras de floculante en agua



Fuente: *elaboración propia*

Fotografía 2: muestras de agua previa aplicación



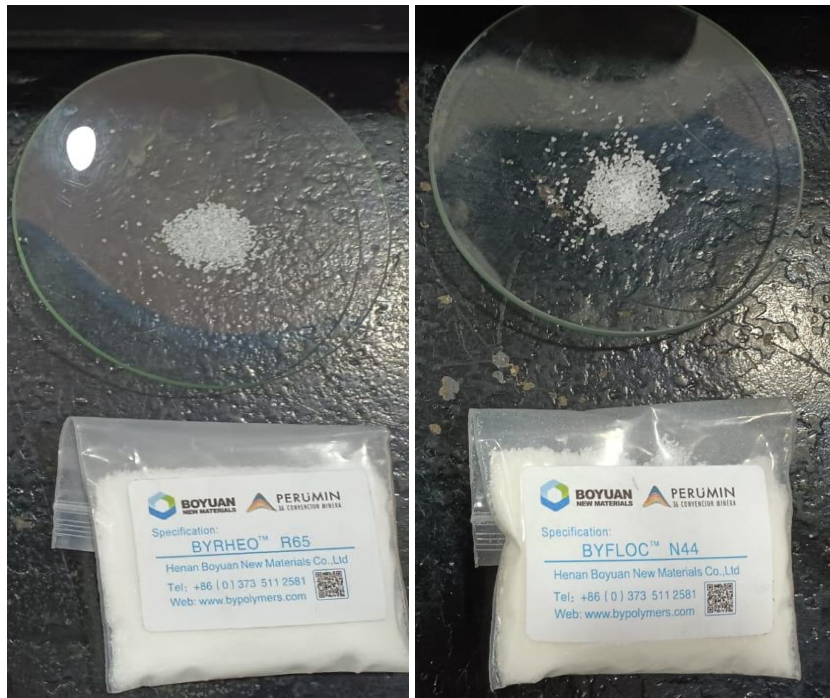
Fuente: *elaboración propia*

Fotografía 3: pesaje de floculante en agua



Fuente: *elaboración propia*

Fotografía 4: floculante presente en la investigación



Fuente: elaboración propia

Fotografía 5: Revoluciones por minuto de los agitadores



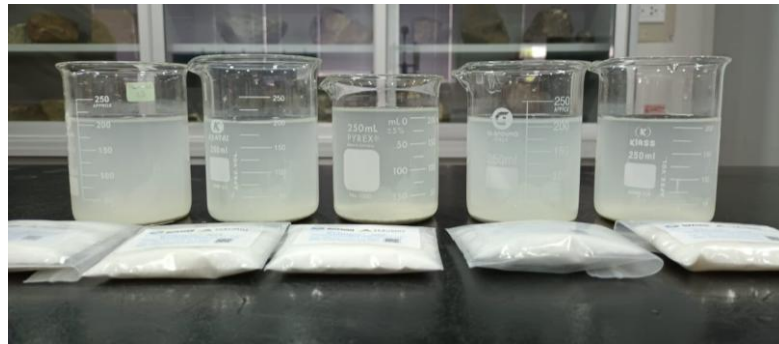
Fuente: elaboración propia

Fotografía 6: Agitación de las soluciones para la disolución



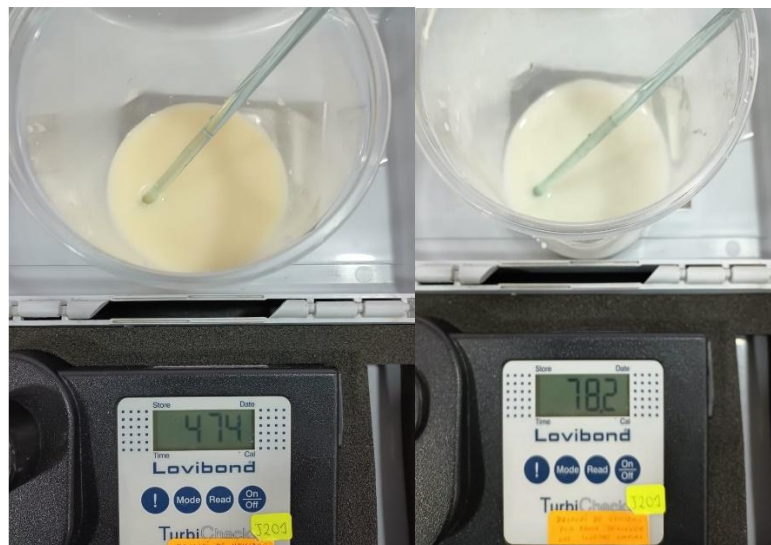
Fuente: elaboración propia

Fotografía 7: Disolución total de los floculantes



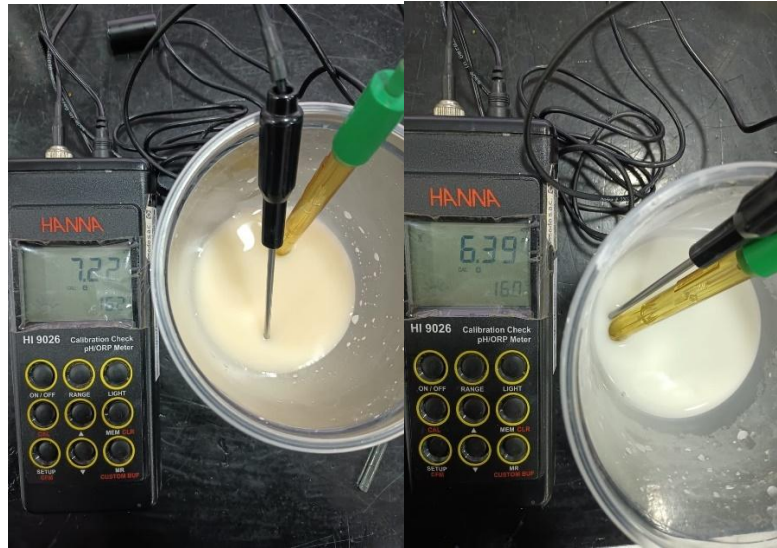
Fuente: elaboración propia

Fotografía 8: Peso de la muestra



Fuente: elaboración propia

Fotografía 9: Medición de pH de las muestras



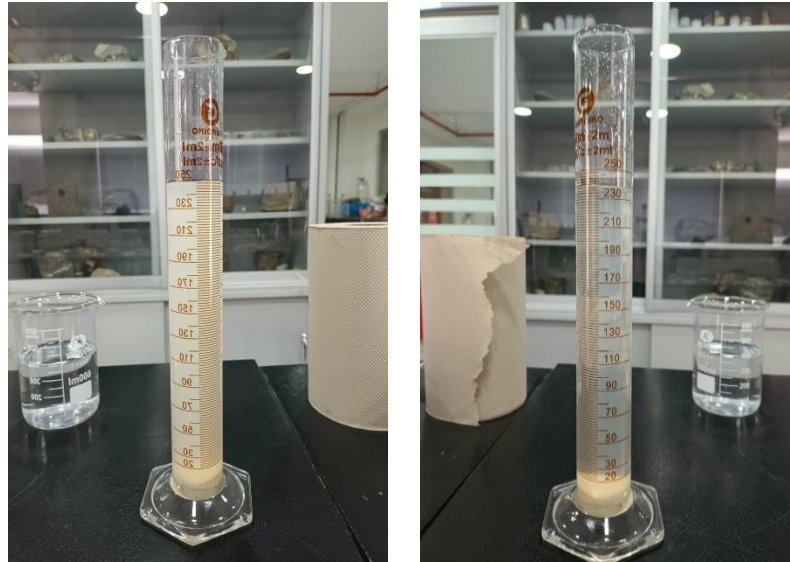
Fuente: elaboración propia

Fotografía 10: Peso de la probeta y peso de la muestra



Fuente: elaboración propia

Fotografía 11: Sedimentación de la muestra



Fuente: elaboración propia

ÍNDICE DE ANEXOS

FOTOGRAFÍA 1: MUESTRAS DE FLOCULANTE EN AGUA.....	57
FOTOGRAFÍA 2: MUESTRAS DE AGUA PREVIA APLICACIÓN.....	57
FOTOGRAFÍA 3: PESAJE DE FLOCULANTE EN AGUA	57
FOTOGRAFÍA 4: FLOCULANTE PRESENTE EN LA INVESTIGACIÓN.....	58
FOTOGRAFÍA 5: REVOLUCIONES POR MINUTO DE LOS AGITADORES	58
FOTOGRAFÍA 6: AGITACIÓN DE LAS SOLUCIONES PARA LA DISOLUCIÓN	59
FOTOGRAFÍA 7: DISOLUCIÓN TOTAL DE LOS FLOCULANTES.....	59
FOTOGRAFÍA 8: PESO DE LA MUESTRA	59
FOTOGRAFÍA 9: MEDICIÓN DE PH DE LAS MUESTRAS.....	60
FOTOGRAFÍA 10: PESO DE LA PROBETA Y PESO DE LA MUESTRA	60
FOTOGRAFÍA 11: SEDIMENTACIÓN DE LA MUESTRA	61