



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

REMOCIÓN DE LA TURBIDEZ MEDIANTE COAGULACIÓN CON CLORURO FÉRRICO EN LAS AGUAS DEL DREN 4000, DISTRITO DE SANTA ROSA, CHICLAYO, 2025

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autor:

Jhelssy Katty Janampa Caja

Asesor:

Mg. Ing. Walter Manuel Hoyos Alayo

<https://orcid.org/0000-0002-8683-1635>

Lima - Perú

2025

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Irma Geralda Horna Hernandez
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	Carmen Rosa Seminario Arriaga
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Walter Manuel Hoyos Alayo
	Nombre y Apellidos

Informe de Similitud



Página 2 de 94 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn.oid::1:3438660883

13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones


- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 12%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
5 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

A mis padres, por su esfuerzo silencioso, por su ejemplo de trabajo honesto y por enseñarme a valorar la educación como camino de cambio. Cada logro académico nace del sacrificio que hicieron por darme oportunidades mejores.

A mi familia, por su cariño constante, por la paciencia en los momentos de ausencia y por celebrar cada pequeño avance. Su confianza en mí dio sentido a este recorrido.

Dedico también este trabajo a quienes día a día enfrentan problemas ambientales en sus comunidades y confían en la ciencia y la educación como herramientas de mejora para su calidad de vida.

Agradecimiento

A mi asesor de tesis, por la orientación académica, las observaciones rigurosas y el tiempo dedicado a revisar cada etapa de esta investigación. Su guía fortaleció mi formación profesional y mi visión crítica.

A los docentes de la escuela profesional, por compartir conocimientos y exigirme siempre un nivel más alto. Sus cursos y consejos influyeron en la forma en que abordé los problemas de ingeniería y la investigación.

A la institución universitaria, por las facilidades brindadas para el desarrollo del trabajo, el acceso a laboratorios, bibliografía y apoyo administrativo.

Tabla de contenidos

Índice de tablas	8
Índice de Figuras.....	9
Resumen	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Antecedentes	16
1.3. Marco Teórico.....	20
1.4. Justificación	24
1.5. Formulación del problema	25
1.6. Objetivos.....	26
1.7. Hipótesis	26
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	28
2.1. Enfoque.....	28
2.2. Tipo.....	28
2.3. Nivel.....	29
2.4. Alcance	29
2.5. Diseño	29
2.6. Población y muestra.....	30
2.7. Tipo de muestreo	31
2.8. Unidad de estudio	31

2.9. Unidad de estudio	32
2.11. Técnicas.....	36
2.12. Instrumentos	37
2.13. Materiales e Equipos	38
2.14. Procedimientos	39
2.15. Análisis de datos estadísticos	48
2.16. Aspectos éticos de la investigación.....	49
CAPÍTULO III: RESULTADOS	50
3.1. Caracterización fisicoquímicamente las aguas del Dren 4000.	50
3.2. Determinación de las condiciones óptimas de coagulación con cloruro férrico para la remoción de turbidez.....	50
3.3. Comparación de los resultados del mejor tratamiento de coagulación con cloruro férrico con los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales).....	58
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	60
REFERENCIAS	74
ANEXOS	84

Índice de tablas

Tabla 1. Niveles de las variables de estudio	32
Tabla 2. Matriz de diseño experimental	33
Tabla 3. Matriz de Experimentación	34
Tabla 4. Combinaciones para prueba de jarras	34
Tabla 5. Coordenadas del área de estudio	39
Tabla 6. Coordenadas de los puntos de muestreo	40
Tabla 7. Norma de Referencia de los análisis	48
Tabla 8. Caracterización fisicoquímica de las aguas del Dren 4000	50
Tabla 9. Turbidez final para cada tratamiento	51
Tabla 10. Porcentaje de remoción de turbidez para cada tratamiento	52
Tabla 11. Información de los factores	53
Tabla 12. Análisis de Varianza (ANOVA) del diseño Factorial	54
Tabla 13. Resumen del modelo del diseño Factorial	55
Tabla 14. Prueba de Tukey con una confianza del 95% para dosis de FeCl ₃	56
Tabla 15. Prueba de Tukey con una confianza del 95% para velocidad	57
Tabla 16. Comparación con estándares de calidad ambiental aplicables	59

Índice de Figuras

Figura 1. Diseño experimental	30
Figura 2. Cantidad de muestra a evaluar	31
Figura 3. Recorrido de la zona de muestreo	41
Figura 4. Toma de muestra del P-001 y P-002	42
Figura 5. Preservación de muestras y rotulado	43
Figura 6. Cloruro férrico $FeCl_3$ 500 ppm	44

Resumen

La elevada turbidez del Dren 4000, asociada a descargas urbanas, industriales y agrícolas, afecta la calidad del agua, limita su uso para riego y genera riesgo para los ecosistemas costeros, por lo que se evaluó la remoción de turbidez mediante coagulación con cloruro férrico. El objetivo general fue evaluar el porcentaje de remoción de turbidez en las aguas del Dren 4000 de la provincia de Chiclayo, distrito de Santa Rosa, mediante coagulación con FeCl_3 . Se aplicó un diseño factorial 3×2 en pruebas de jarras con dosis de 10, 20 y 30 mg/L de FeCl_3 y velocidades de agitación de 20 y 40 rpm sobre un agua con turbidez inicial de 225 NTU, pH 6,8 y conductividad de 4 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con análisis de varianza y prueba de Tukey al 95 por ciento de confianza. La turbidez final varió entre 9,1 y 0,7 NTU, con remociones entre 95,96 y 99,69 por ciento y buen ajuste del modelo, identificando como tratamiento óptimo 30 mg/L y 40 rpm, que alcanzó 0,8 NTU, pH 6,5 y 136 $\mu\text{S}/\text{cm}$, compatibles con la categoría 3 del D S 004 2017 MINAM. Estos resultados muestran que la coagulación con cloruro férrico mejora de forma significativa la calidad del agua del Dren 4000 y aporta evidencia aplicable a programas de tratamiento para riego y protección ambiental costera.

Palabras Claves

Turbidez, coagulación, cloruro férrico, diseño factorial.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La contaminación de cuerpos de agua superficiales se ha convertido en uno de los problemas ambientales más críticos en zonas urbanas y periurbanas de países en desarrollo (Analy Chávez Zamora et al., 2025). La mezcla de aguas residuales domésticas, descargas industriales, escorrentía agrícola y residuos sólidos genera aumentos marcados de sólidos suspendidos y coloides, lo que se refleja en valores altos de turbidez (Choque-Quispe et al., 2024). Dentro del marco normativo peruano, los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, aprobados por el D.S. 004-2017 MINAM, consideran la turbidez como parámetro clave en categorías asociadas a consumo humano, recreación y conservación de ecosistemas, lo que refleja su relevancia sanitaria y ambiental (Márquez et al., 2025).

En la región Lambayeque, la provincia de Chiclayo concentra usos de suelo agrícolas, urbanos, pesqueros e industriales que presionan de forma intensa las fuentes hídricas superficiales (Salazar Ordinola, 2024). El sistema de riego Chancay–Lambayeque descarga excedentes mediante una red de drenes que cruzan zonas pobladas y desembocan en el litoral lambayecano (Ruiz Ocaña & Bravo Torres, 2024). Diversos informes de monitoreo marino y costero han identificado las desembocaduras de los drenes 3000 y 4000, entre otros, como puntos de alteración ambiental por el transporte continuo de aguas con alta carga orgánica, sólidos en suspensión y contaminación fecal hacia las playas de San José, Santa Rosa, Monsefú y Pimentel (Soto Corra, 2025).

El Dren 4000 constituye uno de los ejes de esta problemática. Ubicado en la provincia de Chiclayo, atraviesa áreas con intensa actividad agropecuaria, zonas urbanas

y establecimientos industriales, hasta desembocar en el mar de la caleta Santa Rosa, distrito del mismo nombre (Odiaga Melgar & Tesen Nuñez, 2025). Estudios técnicos y presentaciones académicas señalan que este dren recibe mezclas de aguas residuales domésticas, efluentes de camales y plantas de procesamiento de pescado, descargas de pequeñas industrias, efluentes de lagunas de estabilización y arrastre de residuos sólidos desde mercados y viviendas aledañas (Saavedra Flores & Tejada Reyes, 2023). Esta combinación genera un cuerpo de agua con apariencia turbia, presencia visible de residuos y olores desagradables, lo que refleja condiciones de fuerte contaminación orgánica y microbiológica (Pérez Rodas & Vallejos Rojas, 2022).

Investigaciones recientes sobre la calidad fisicoquímica del Dren 4000 confirman el incumplimiento generalizado de los ECA y de los Límites Máximos Permisibles para efluentes. Un estudio desarrollado en 2024 reportó valores de pH cercanos a 8,63, demanda química de oxígeno de 728 mg/L y DBO5 de 735 mg/L, lo que evidencia un cuerpo de agua con carga orgánica extrema y condiciones que favorecen la proliferación de microorganismos patógenos (Purisaca Enriquez, 2020). Otros trabajos señalan valores elevados de sólidos suspendidos totales y turbidez, junto con la presencia de coliformes fecales y totales por encima de los límites normativos para agua destinada a recreación o consumo humano tras tratamiento convencional (Ruiz Ocaña & Bravo Torres, 2024).

La desembocadura del Dren 4000 en la caleta Santa Rosa agrava la vulnerabilidad del ecosistema marino costero y de las actividades pesqueras artesanales que sostienen la economía local (Pérez Rodas & Vallejos Rojas, 2022). Evaluaciones realizadas por IMARPE y estudios académicos sobre la zona registran en las inmediaciones de la descarga concentraciones extremadamente altas de coliformes termotolerantes y enterococos, del orden de 10^7 a 10^9 NMP/100 mL, lo que demuestra una contaminación

fecal severa en el área de baño y pesca (Castillo Silva & Lizana Peña, 2024). Paralelamente, se describen cambios en la composición de la biota bentónica, presencia de espumas y manchas superficiales, y conflictos recurrentes entre pescadores, autoridades y empresas vinculadas al procesamiento de recursos hidrobiológicos (Lozada Bances, 2020).

En ese contexto, la turbidez del agua del dren adquiere un rol central. Valores altos de turbidez reflejan la presencia de una mezcla de arcillas, materia orgánica particulada, grasas, aceites y residuos finos que reducen la penetración de la luz en el agua, alteran procesos fotosintéticos y favorecen condiciones de anoxia en la columna de agua y sedimentos (Duncan et al., 2026). Esta turbidez actúa como vehículo de transporte para patógenos y contaminantes adsorbidos, lo que incrementa el riesgo sanitario para pobladores que tienen contacto con el dren, para trabajadores de actividades cercanas y para bañistas y pescadores en la zona de descarga marina (Moussouni et al., 2026).

Desde la perspectiva normativa, el D.S. 004-2017 MINAM establece valores de referencia de turbidez estrictos para aguas destinadas a potabilización, recreación y conservación de la vida acuática (Márquez et al., 2025). Un cuerpo de agua con turbidez elevada dificulta la desinfección con cloro, aumenta el consumo de reactivos y favorece la formación de subproductos potencialmente peligrosos (Ricardo et al., 2026). A esto se suma la percepción social: una fuente hídrica con coloración oscura y sólidos flotantes genera rechazo, deteriora la imagen del distrito y reduce oportunidades para un aprovechamiento sostenible del espacio marino costero y de actividades turísticas vinculadas a la playa de Santa Rosa (Pacheco & Carranza, 2018).

Ante el deterioro progresivo del Dren 4000, diversas investigaciones locales han planteado alternativas de tratamiento a escala de laboratorio y piloto. Algunas tesis

evaluaron coagulantes naturales como *Caesalpinia spinosa* para mejorar la calidad de las aguas residuales del dren, mediante pruebas de jarras orientadas a la determinación de dosis óptimas y porcentajes de remoción de turbidez, color y carga orgánica (Ramírez Flores, 2017). Otras investigaciones exploraron el uso de macrófitas acuáticas como *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides*, logrando porcentajes de remoción de turbidez cercanos a 99 % después de periodos de retención de 21 días, aunque con requerimientos de área y tiempos de operación que dificultan su implementación en un dren con caudales variables y cargas fluctuantes (Solano Carrion, 2019).

También se han ensayado residuos agroindustriales como cáscara de plátano y pepa de uva para el tratamiento del agua del Dren 4000, con reducciones significativas de turbidez y parámetros asociados tras etapas de coagulación, sedimentación y filtración (Castillo Silva & Lizana Peña, 2024). Estas propuestas demuestran interés académico y social por mitigar la contaminación del dren, pero no han logrado consolidarse como soluciones tecnológicas aplicadas en campo, entre otras razones por la falta de estudios que definan condiciones operativas, estabilidad de desempeño y costos de operación para escenarios reales de caudal y variabilidad de carga contaminante (Ruiz Ocaña & Bravo Torres, 2024).

En paralelo a estas alternativas, la coagulación química con sales metálicas se mantiene como una de las tecnologías más usadas a escala mundial para la remoción rápida de turbidez en aguas superficiales y residuales (Duncan et al., 2026). En experiencias nacionales y regionales, el cloruro férrico ha mostrado alta eficiencia en la formación de flóculos densos y sedimentables, incluso en aguas con pH variable, con reducciones marcadas de turbidez, sólidos suspendidos y parte de la materia orgánica en condiciones controladas de mezcla rápida, floculación y sedimentación (Ricardo et al.,

2026). Estos resultados indican que el cloruro férrico representa un coagulante con potencial para tratar aguas con características similares a las del Dren 4000, que combinan alta turbidez, carga orgánica y presencia de coloides estables (Lozada Bances, 2020).

No obstante, la aplicación específica de cloruro férrico en aguas del Dren 4000 todavía presenta vacíos de información. No se dispone de estudios suficientes que determinen las dosis óptimas de este coagulante para distintos niveles de turbidez del dren, que cuantifiquen los porcentajes de remoción alcanzables bajo diferentes tiempos de mezcla y sedimentación, ni que analicen la relación entre turbidez remanente y otros parámetros críticos para el cumplimiento de los ECA y LMP (Pacheco & Carranza, 2018). Esta falta de evidencia limita la formulación de propuestas concretas de tratamiento para el dren y restringe la capacidad de las autoridades locales y regionales para diseñar intervenciones de corto y mediano plazo sobre la calidad del agua descargada al mar de Santa Rosa (Purisaca Enriquez, 2020).

En síntesis, el Dren 4000 constituye un foco importante de contaminación en la provincia de Chiclayo, con impactos directos sobre la calidad del agua, la salud pública, los ecosistemas marino costeros y las actividades económicas del distrito de Santa Rosa. La turbidez elevada es un rasgo constante del dren y un parámetro estratégico para mejorar la eficiencia de cualquier esquema de tratamiento. Frente a esta realidad, surge la necesidad de investigar en detalle la remoción de turbidez mediante coagulación con cloruro férrico en las aguas del Dren 4000, con énfasis en la determinación de dosis óptimas y condiciones operativas que permitan reducir de forma significativa la carga de sólidos y coloides antes de la descarga al medio marino y, con ello, avanzar hacia el cumplimiento gradual de la normativa ambiental vigente.

1.2. Antecedentes

Hadadi et al. (2022) compararon cuatro biocoagulantes vegetales, *Opuntia ficus indica*, *Moringa oleifera*, *Aloe vera* y *Pinus halepensis*, frente al alumbre y el cloruro férrico en agua sintética turbida con bentonita. Aplicaron pruebas de jarras a 25 °C con 200 mL de muestra, mezcla rápida de 200 rpm por 3 minutos, mezcla lenta de 30 rpm por 20 minutos y 30 minutos de sedimentación, evaluando pH, dosis, turbidez y envejecimiento. Con pH natural 7,5, los coagulantes alcanzaron casi 100 % de remoción de turbidez con dosis óptimas de 1,5 a 3,5 mL/200 mL en un rango de pH de 2 a 8 sin modificar el pH final. Los biocoagulantes generaron menos lodos, aunque alumbre y FeCl_3 lograron la mayor remoción de turbidez, y FeCl_3 alcanzó más de 84 % con turbidez inicial de 50 NTU. Este antecedente orienta el ajuste de dosis y tiempos para comparar coagulantes naturales y químicos en reducción de turbidez.

Al-Anzi et al. (2022) evaluaron la coagulación floculación con $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ para tratar aguas residuales de la industria azulejera, con pH inicial 12,8, turbidez de 13 610 NTU y conductividad de 7 975 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Caracterizaron los efluentes mediante parámetros fisicoquímicos y aplicaron pruebas de jarras con dosis de FeCl_3 entre 10 y 50 mg/L, variando pH y tiempo de sedimentación. Con 50 mg/L de coagulante y una hora de sedimentación, la remoción de turbidez llegó a 99,5 %, mientras que con 10 mg/L alcanzó 95,6 %, lo que evidencia mayor remoción con dosis superiores por el incremento de colisiones entre partículas. Para pH mayores de 7 se obtuvo alrededor de 80 % de remoción. Este trabajo resalta la importancia del pH, la dosis de FeCl_3 y el tiempo de sedimentación como variables clave en la reducción de turbidez en efluentes industriales.

Guillen-Rivas et al. (2021) realizaron una revisión sobre procesos de remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas con un enfoque cualitativo y cuantitativo. Analizaron publicaciones recientes mediante bases de datos científicas, fichas resúmenes y tablas dinámicas. Revisaron métodos convencionales como oxidación, precipitación y filtración, combinaciones con carbonato de calcio, electrocoagulación, procesos biológicos, membranas y nanotecnología. El proceso oxidación precipitación filtración con NaHCO_3 , KMnO_4 y FeCl_3 , a pH entre 7 y 7,5, mostró remociones cercanas a 99 % para Fe y 98 % para Mn, con bajo costo y operación sencilla. Sistemas con piedra caliza también alcanzaron remociones superiores al 85 % de Fe y Mn. Este antecedente sirve para definir criterios de selección y evaluación de procesos físicoquímicos que involucran FeCl_3 y control de pH.

Sakhi et al., (2020) optimizaron el tratamiento de un efluente textil real mediante coagulación floculación con cloruro férrico y polímero aniónico, usando diseño compuesto central y metodología de superficie de respuesta. Caracterizaron el efluente con pH 8,02, conductividad de 2,6 mS/cm y turbidez de 132 NTU. En pruebas de jarras, aplicaron mezcla rápida de 300 rpm por 10 minutos tras la adición de FeCl_3 , mezcla lenta de 30 rpm por 20 minutos con floculante y posterior sedimentación. Evaluaron 16 combinaciones de pH, dosis de FeCl_3 y dosis de floculante. A pH 9,1, con 0,8 g/L de FeCl_3 y 2,6 mL/L de floculante, lograron remociones de 93,18 % en turbidez, 96,58 % en color, 95,44 % en DQO y 67 % en DBO5. Este estudio aporta criterios para el diseño experimental y la optimización simultánea de pH, dosis y tiempos en efluentes con alta carga orgánica y color.

Yanza-López et al. (2019) evaluaron FeCl_3 y PAC en la potabilización de agua cruda con alto color y baja turbidez. Diseñaron 15 repeticiones para cada tratamiento con FeCl_3 , PAC, y combinaciones de FeCl_3 con PAC como ayudante de coagulación o floculación, durante época seca. En pruebas de jarras, estudiaron seis dosis de FeCl_3 entre 34 y 47 mg/L y dosis de PAC entre 0,1 y 0,6 mg/L, con mezcla rápida de 300 rpm por 1 minuto, mezcla lenta de 39 rpm por 23 minutos y 15 minutos de sedimentación a pH 8,5. La turbidez inicial promedio fue 6,5 NTU. FeCl_3 alcanzó 80,7 % de remoción de turbidez, seguido de FeCl_3 + PAC con 80,2 %, FeCl_3 + PAC como auxiliar de floculación con 78,1 % y PAC con 47,1 %. Este antecedente muestra que FeCl_3 tiene alta eficiencia en aguas de baja turbidez y destaca la importancia de ajustar dosis y condiciones de mezcla.

Mamani Chipana, (2019) caracterizó y trató efluentes de aguas ácidas de mina en La Rinconada, Puno, con el propósito de definir una técnica de tratamiento y diseñar una planta piloto. Tomó 105 L de efluente en cuatro puntos y tres campañas, y determinó metales como Fe, Zn, Al, Ni, Mn, entre otros, mediante fotometría. Los resultados mostraron pH menor de 7 y concentraciones que superaban los ECA para agua categoría 3 del D.S. N.º 004 2017 MINAM. Aplicó neutralización con cal al 4 % mediante pruebas de jarras, logrando remociones de 93,84 % de Fe, 80,95 % de Cu y 99,37 % de Al a pH 6,5, y remociones elevadas de Zn y Mn a pH 8,5. Este antecedente aporta criterios para el tratamiento de efluentes ácidos de mina, el ajuste de pH y la comparación con la normativa nacional.

Acosta Rodríguez et al. (2018) estudiaron el efecto del tiempo de agitación y la dosis de coagulante en la remoción de turbidez del río Santa, usando cloruro férrico obtenido a partir de chatarra de hierro y un coagulante de exoesqueleto de camarón. Aplicaron un diseño bifactorial con 18 tratamientos y muestras de 54 L de agua, siguiendo

el protocolo nacional para monitoreo de aguas superficiales. Prepararon soluciones de FeCl_3 a partir de chatarra disuelta en ácido clorhídrico hasta obtener una solución de 500 ppm. En pruebas de jarras con 800 mL de muestra, aplicaron dosis de 15, 30 y 45 mL de coagulante y tiempos de agitación lenta de 10, 20 y 30 minutos, con mezcla rápida de 150 rpm y 10 minutos de sedimentación. La turbidez inicial fue 101,7 NTU y pH 7,22. El quitosano alcanzó remociones alrededor de 81 %, mientras que el cloruro férrico llegó a 97,88 % con 45 mL y 30 minutos de agitación. Este trabajo apoya el uso de FeCl_3 en diseños bifactoriales que combinan dosis y tiempos de agitación para mejorar la remoción de turbidez.

Caso Rupay & Laureano Estrella, (2018) estudiaron la goma de tara como floculante en la remoción de arsénico en agua de mina, con FeCl_3 como coagulante. Prepararon soluciones de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ con concentraciones entre 4,3 y 25,7 ppm y diferentes dosis de goma de tara. Tomaron una muestra de la Unidad de Producción Consorcio Minero Horizonte, ajustaron el pH a 8 con NaOH y aplicaron velocidades de agitación de 100 rpm por 90 minutos para el coagulante y 40 rpm por 25 minutos para el floculante. Obtuvieron una remoción de arsénico de 85,1 % con 4,3 ppm de cloruro férrico y 25 mL de goma de tara a 1 500 mg/L, partiendo de 0,267 mg/L de As y pH 7,2. Este antecedente confirma la alta eficiencia del FeCl_3 en la remoción de metales y metaloides cuando se combina con floculantes naturales.

Cerón P. (2016) evaluó la dosis óptima de distintos coagulantes en la clarificación de agua cruda para potabilización en la empresa Empoobando E.S.P. Preparó soluciones al 10 % de sulfato de aluminio tipo B y PAC, y al 10 % de sulfato de aluminio tipo A líquido y FeCl_3 , con soluciones posteriores al 1 %. Tomó 25 L de agua superficial y aplicó pruebas de jarras con dosis de 10 a 50 ppm, mezcla rápida de 100 rpm por 1 minuto,

mezcla lenta de 40 rpm por 20 minutos y sedimentación de 20 minutos. El agua cruda presentó pH entre 7,01 y 8,40, turbidez entre 4 y 25,6 NTU y color entre 19,8 y 30,6 PCU. El PAC logró buenos resultados en casi todas las dosis, mientras que FeCl₃ alcanzó remociones de turbidez de 82 % con 30 ppm y 90 % con 40 ppm, con reducción apreciable del pH. El análisis ANOVA permitió comparar coagulantes y concentraciones. Este estudio respalda el uso de FeCl₃ en potabilización y la necesidad de integrar análisis estadístico para definir dosis óptimas.

(Hernández et al., 2016) evaluaron un postratamiento fisicoquímico de coagulación floculación para la remoción de turbidez en efluentes de una tenería, usando FeCl₃ y agua de mar. Prepararon FeCl₃ a 5 000 ppm y aplicaron pruebas de jarras con seis paletas y vasos de 1 L a pH 7, 8,9 y 11, junto con policloruro de aluminio a 30 mL/L. Con 120 mL/L de FeCl₃, la remoción de turbidez fue 59,3 % a pH 7, 72,9 % a pH 8,9 y 100 % a pH 11; el agua de mar alcanzó remociones menores en los mismos pH. Luego evaluaron dosis entre 10 y 200 mL/L y confirmaron que las mayores remociones se lograban a pH 11. Este antecedente demuestra la alta eficiencia del FeCl₃ en efluentes industriales y muestra que el incremento del pH incrementa la remoción de turbidez.

1.3. Marco Teórico

1.3.1. Contexto de la calidad del agua en el Dren 4000

El Dren 4000 forma parte del sistema de drenes de la cuenca Chancay Lambayeque y conduce aguas residuales domésticas, efluentes industriales, descargas de camales, destilerías, terminal pesquero y la laguna de tratamiento de Santa Rosa a lo largo de cerca de 14 km hasta su desembocadura en la caleta Santa Rosa, provincia de Chiclayo (Pacheco & Carranza, 2018). Estudios ambientales reportan altos niveles de contaminación orgánica, presencia de coliformes, sólidos suspendidos y alteraciones en

parámetros físicos como temperatura y turbidez, lo que afecta la biota marina y genera riesgos para actividades pesqueras y recreativas en la zona litoral (Lozada Bances, 2020).

En el Perú, los Estándares de Calidad Ambiental para agua, aprobados mediante el Decreto Supremo 004 2017 MINAM, establecen límites para parámetros físicos, químicos y biológicos en función del uso del cuerpo receptor, entre ellos la turbidez para usos poblacionales, recreativos y de conservación de la vida acuática (MINAM, 2017). El incumplimiento de estos valores se asocia con impactos en salud y en los ecosistemas acuáticos, lo que vuelve necesaria la evaluación de alternativas de tratamiento para las aguas del Dren 4000 antes de su descarga al mar (Ramírez Flores, 2017).

1.3.2. Turbidez del agua del Dren 4000

La turbidez es un parámetro físico que expresa la pérdida de transparencia del agua por la presencia de partículas en suspensión como arcillas, limos, materia orgánica, microorganismos y otros sólidos finos; se entiende como una propiedad óptica en la que las partículas dispersan y absorben la luz, generando opacidad (HANNA, 2025). Se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) mediante equipos que registran la luz dispersada por la muestra (Hernández et al., 2016).

En cuerpos de agua impactados por descargas domésticas e industriales, la turbidez suele asociarse a sólidos suspendidos totales, carga orgánica y presencia de patógenos (Ruiz Ocaña & Bravo Torres, 2024). Valores elevados reducen la penetración de luz, alteran la fotosíntesis de organismos autótrofos, incrementan la temperatura superficial y modifican la estructura de comunidades acuáticas (Hernández et al., 2016). En agua destinada a uso poblacional, una turbidez alta se relaciona con mayor probabilidad de presencia de microorganismos y microcontaminantes adsorbidos en las

partículas, lo que exige procesos de clarificación previos a la desinfección (California State Water Resources Control Board, 2025).

En el caso del Dren 4000, la mezcla de efluentes domésticos, industriales y escorrentía agrícola incrementa la concentración de sólidos finos y coloides, lo que altera de forma sostenida la turbidez en el cuerpo receptor marino cercano a la desembocadura (Pacheco & Carranza, 2018). En esta investigación, la turbidez constituye la variable dependiente y se evalúa a través de su valor residual y del porcentaje de remoción después de aplicar coagulación con cloruro férrico.

1.3.3. Coagulación floculación como proceso de remoción de turbidez

La coagulación floculación es un proceso químico clave en el tratamiento de aguas potables y residuales, cuyo objetivo es desestabilizar partículas coloidales y favorecer su aglomeración en flóculos que sedimentan con facilidad (Eddy, 2020). Las partículas coloidales tienen carga superficial negativa y tamaño pequeño, lo que impide su remoción por sedimentación simple. La adición de coagulantes metálicos introduce especies cargadas positivamente que neutralizan cargas, reducen la repulsión electrostática y favorecen el acercamiento entre partículas (Hernández et al., 2016).

El proceso se divide en una etapa de mezcla rápida, donde se dispersa el coagulante en pocos segundos o minutos a gradientes de velocidad altos, y una etapa de floculación con mezclas lentas durante 10 a 30 minutos, en la cual las partículas desestabilizadas chocan y forman flóculos de mayor tamaño (Moussouni et al., 2026). Posteriormente, la sedimentación y la filtración retiran los flóculos del agua. En laboratorio, la prueba de jarras permite optimizar concentración de coagulante, pH, tiempos de mezcla y de sedimentación para alcanzar una remoción eficiente de turbidez y otros contaminantes asociados a la fracción coloidal (Ameh et al., 2025).

1.3.4. Coagulación con cloruro férrico

El cloruro férrico (FeCl_3) es un coagulante inorgánico ampliamente usado en plantas de tratamiento de agua y aguas residuales. Al disolverse en agua, los iones férricos sufren hidrólisis y forman hidróxidos férricos amorfos con alta capacidad de adsorción y de formación de flóculos, mientras liberan protones que disminuyen el pH (Merabti et al., 2025). Estas especies hidroxil férricas actúan por neutralización de carga y por floculación tipo barrido, atrapando partículas en la red gelatinosa de hidróxido férrico (Neama et al., 2024).

Diversos estudios reportan que el cloruro férrico presenta rendimientos de remoción de turbidez comparables o superiores al sulfato de aluminio en amplios rangos de turbidez inicial, con eficiencias que alcanzan valores mayores de 90 por ciento cuando se ajustan dosis y pH de forma adecuada (Abdel-Basser et al., 2024). También se ha comprobado su capacidad para disminuir fósforo, color, metales pesados y materia orgánica, lo que amplía su relevancia en aguas con descargas múltiples como el Dren 4000 (Solano Carrion, 2019).

En el contexto peruano, trabajos que comparan cloruro férrico con otros coagulantes en aguas de río o en procesos de potabilización muestran reducciones significativas de turbidez y ajustes favorables de pH, siempre que se definan rangos óptimos de dosificación y se controle la alcalinidad del agua (Singh et al., 2024). En el presente estudio, la coagulación con cloruro férrico constituye la variable independiente central, operacionalizada mediante dosis, pH de trabajo, condiciones de mezcla y tiempo de sedimentación (M. Gomaa et al., 2024).

1.3.5. Factores que condicionan la remoción de turbidez con cloruro férrico

La eficiencia de remoción de turbidez con cloruro férrico depende de un conjunto de factores fisicoquímicos e hidrodinámicos. La dosis de FeCl_3 resulta decisiva, ya que cantidades insuficientes no logran desestabilizar todos los coloides, mientras que dosis excesivas generan especies solubles que vuelven a incrementar la turbidez por restabilización de partículas o por formación de precipitados finos (Alshahri et al., 2023). El pH influye en la especiación del hierro y en la carga superficial de las partículas, con rangos óptimos que suelen ubicarse entre valores ligeramente ácidos y neutros, donde se forma mayor cantidad de $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$ con buena capacidad floculante (Leite et al., 2019).

La turbidez inicial del agua condiciona el mecanismo dominante de remoción. En aguas con alta carga de sólidos, la floculación tipo barrido se vuelve más relevante, mientras que en turbideces bajas predomina la neutralización de carga y la formación de microfloculos (Dollah et al., 2020). La temperatura influye en la viscosidad del agua y en la velocidad de reacción de hidrólisis del hierro, lo que afecta la cinética de formación de floculos (Alshahri et al., 2023). Las condiciones de mezcla rápida y lenta, expresadas en gradiente de velocidad y tiempo de contacto, deben ajustarse para favorecer colisiones entre partículas sin romper los floculos formados (Barros et al., 2022).

1.4. Justificación

La justificación ambiental radica en que la elevada turbidez del Dren 4000 incrementa sólidos en suspensión, reduce la luz en la columna de agua y arrastra contaminantes hacia la zona costera de Santa Rosa, afectando hábitats marinos y el cumplimiento de los ECA; por lo tanto, optimizar la coagulación con cloruro férrico permite clarificar el agua y disminuir impactos sobre el ecosistema litoral (Pacheco & Carranza, 2018).

En el ámbito social, un dren con menor turbidez reduce riesgos sanitarios vinculados a patógenos y sustancias adsorbidas en partículas, protege a la población que mantiene contacto frecuente con el cuerpo de agua y a los pescadores artesanales que dependen del recurso marino; en ese sentido, el estudio respalda políticas locales de saneamiento y gestión ambiental participativa (Castillo Silva & Lizana Peña, 2024).

Desde el enfoque económico, la mejora de la calidad del agua favorece la sostenibilidad de la pesca y actividades recreativas, disminuye pérdidas por rechazo de productos hidrobiológicos, y reduce posibles costos asociados a sanciones o remediaciones futuras; así, la investigación aporta parámetros de diseño y operación que orientan inversiones en sistemas de tratamiento eficientes para el Dren 4000 y otros drenes de la provincia de Chiclayo (Lozada Bances, 2020).

1.5. Formulación del problema

1.5.1. Pregunta general

¿En qué medida la coagulación con cloruro férrico remueve la turbidez de las aguas del Dren 4000 en la provincia de Chiclayo, distrito de Santa Rosa, 2025?

1.5.2. Preguntas específicas

¿Cuáles son las características fisicoquímicas de las aguas del Dren 4000 en la provincia de Chiclayo, distrito de Santa Rosa, 2025?

¿Cuáles son las condiciones óptimas de dosis de cloruro férrico, pH, tiempos de mezcla y sedimentación para la remoción de turbidez en las aguas del Dren 4000?

¿En qué medida el mejor tratamiento de coagulación con cloruro férrico permite que la turbidez de las aguas del Dren 4000 se ubique dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para agua aplicables?

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Evaluar el porcentaje de remoción de turbidez mediante coagulación con cloruro férrico en las aguas del Dren 4000, distrito de Santa Rosa, Chiclayo, 2025.

1.6.2. Objetivos específicos

Caracterizar fisicoquímicamente las aguas del Dren 4000, distrito de Santa Rosa, Chiclayo, 2025.

Determinar las condiciones óptimas de coagulación con cloruro férrico para la remoción de turbidez en las aguas del Dren 4000.

Comparar los resultados del mejor tratamiento de coagulación con cloruro férrico con los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis general

La coagulación con cloruro férrico reduce de forma significativa la turbidez de las aguas del Dren 4000 en la provincia de Chiclayo, distrito de Santa Rosa, 2025.

1.7.2. Hipótesis específicas

Las aguas del Dren 4000 presentan características fisicoquímicas con altos niveles de turbidez, sólidos suspendidos y conductividad, superiores a valores de referencia para cuerpos de agua costeros.

Una combinación adecuada de dosis de cloruro férrico, pH, tiempos de mezcla y sedimentación logra el mayor porcentaje de remoción de turbidez en las aguas del Dren 4000.

El mejor tratamiento de coagulación con cloruro férrico deja la turbidez de las aguas del Dren 4000 dentro de los límites de los Estándares de Calidad Ambiental para agua aplicables al cuerpo receptor costero.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Enfoque

El enfoque considerado para esta investigación fue **cuantitativo**, el cual según Alan Neill & Cortez Suárez (2018) es conocida como empírico-analítico debido a que se basa en los aspectos numéricos para recoger, analizar y comprobar información a través de variables medibles y de conceptos mediante la aplicación de herramientas matemáticas, estadísticas e informáticas; para la elección del modelo que permita conocer la realidad de manera imparcial con el propósito de cuantificar el problema.

Como señala (Guadalupe & Concepción (2020) es disentir la hipótesis desde el punto de vista probabilístico y, en caso al ser demostradas y aceptadas en diferentes situaciones, y a partir de ellas elaborar teorías generales. Por lo tanto, la estadística dispone instrumentos cuantitativos para aceptar o rechazar la hipótesis.

Por lo tanto, esta investigación tiene este enfoque por que se centró en el análisis de la realidad de diferentes tratamientos en la medición para la determinación del porcentaje de remoción de turbidez de las aguas del Dren 4000 mediante coagulación con cloruro férrico; donde existirá un mayor control e inferencia que otros tipos de estudios, siendo posible realizar experimentos y obtener resultados numéricos basados en la estadística para contrastar la hipótesis.

2.2. Tipo

Esta investigación se enmarca en el tipo **aplicativo** puesto que según la (Concytec, 2020), consiste en realizar trabajos para adquirir nuevos conocimientos para su aplicación o utilización hacia un objetivo práctico por procedimientos de campo y documentales.

2.3. Nivel

Del mismo modo, fue una investigación de nivel **explicativo**, ya que explica como dos o más variables están relacionadas entre sí, y de qué forma una variable puede influenciar en valores en otra variable (Zúñiga et al., 2023).

2.4. Alcance

Este estudio fue de corte **transversal** debido a que se recopilan los datos una sola vez en un momento determinado, es conocido también como análisis puntual. Además, tiene como finalidad describir variables, estudiar su interrelación e incidencia (Heinemann, 2007; Pereyra, 2020). Tal como se muestra en la matriz de operacionalización de variables y consistencia (Ver anexo 01 y 02).

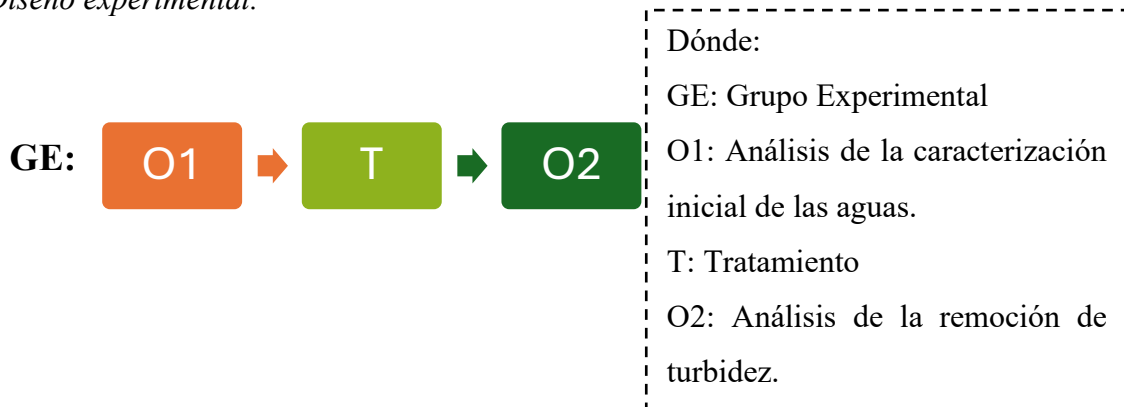
2.5. Diseño

La presente investigación fue de **diseño experimental**, como expresa (Mejía & Sanchezllanes, 2018), consiste en manipular de manera directa o indirecta a la variable, creando condiciones que permitan conocer sus características y efectos con el entorno como el análisis de laboratorio en condiciones controladas. Por tal motivo, el investigador modifica la variable para entender el mecanismo a partir del cambio de condiciones, para luego analizarlos (Castillo et al., 2014).

Entonces, el diseño de este estudio fue experimental, en la que se operaron 3 variables, una dependiente, una interviniente y otra independiente, está última (causa) fue manipulada aplicando el método de coagulación con cloruro férrico, sobre la variable dependiente (efecto) que es la remoción de turbidez y la interviniente es la caracterización fisicoquímica; con el fin de analizar y determinar los parámetros fisicoquímicos, específicamente el de la turbidez, antes y después del tratamiento de las aguas del Dren 4000.

Figura 1

Diseño experimental.



Por tal motivo, en esta investigación se realizó mediante prueba de jarras con cloruro férrico en el laboratorio de Biología de la sede de la Universidad Privada del Norte- Sede Los Olivos, en donde el tratamiento de las aguas del Dren 4000 involucro la realización de actividades como recolección, transporte y análisis de las muestras; asimismo, la recolección documentaria y de la aplicación del tratamiento de coagulación con cloruro férrico con el fin de evaluar la caracterización inicial del efluente, determinar la dosis necesaria de coagulante y la velocidad de agitación del equipo para una efectiva remoción turbidez de las aguas del Dren 4000. Teniendo en cuenta la influencia de sus variables y las dimensiones de ellas.

2.6. Población y muestra

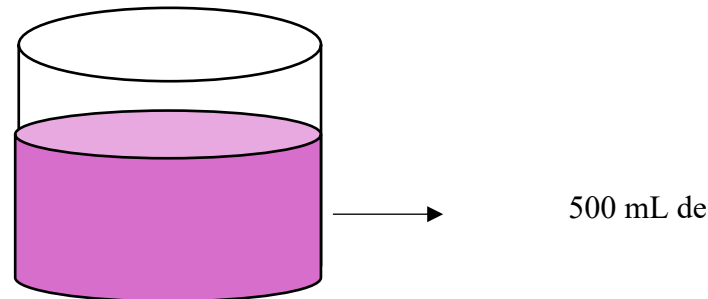
Según (Arias-Odón, 2006), la población, es un conjunto finito o infinito de elementos, personas o instituciones que son motivo de estudio y tienen características comunes. Este, queda delimitada por los objetivos de la investigación. Por consiguiente, en la presente investigación, la población son las aguas del Dren 4000.

De acuerdo el (INEGI, 2011), menciona que la muestra “es subconjunto de unidades de observación de una población, bajo condiciones preestablecidas que serán objeto de registro y captación de datos” (p.2)

La muestra del estudio son la cantidad de litros tomados de las aguas del Dren 4000. Esta dada por los 20 Litros tomados en dos recipientes de 10 L (uno para cada repetición) y considerar dos blancos; esta cantidad de muestra nos asegura realizar la totalidad de los tratamientos propuestos bajo un diseño factorial.

Figura 2

Cantidad de muestra a evaluar



2.7. Tipo de muestreo

El presente trabajo de investigación tuvo un tipo de muestreo no probabilístico, donde selecciona el número de muestras acorde al criterio y necesidad del investigador. Por tal motivo, se tomó una muestra de 20 L el cual representa la cantidad necesaria para llevar el análisis experimental pero no representa estadísticamente la población.

2.8. Unidad de estudio

Para la investigación es el volumen de aguas del Dren 4000, que fueron generadas producto de las aguas de riego en diferentes cultivos durante su recorrido y los efluentes industriales. En función de esta unidad, se obtuvo información documental y fotográfica, asimismo de monitoreo para llevar a cabo el análisis en un laboratorio.

2.9. Unidad de estudio

2.9.1. Proceso de experimentación

Determinación de tratamientos en función al diseño factorial combinado

En el presente trabajo de investigación se usó el diseño experimental de tipo factorial, en el que se el factor controlable fue la dosis de coagulante de cloruro férrico y la velocidad de agitación, evaluándose la influencia sobre el porcentaje de remoción de turbidez en agua del Dren 4000 mediante tratamiento por coagulación.

Tabla 1

Niveles de las variables de estudio

Variables Independientes de estudio	Niveles de estudio
Factor A. Dosis de coagulante FeCl ₃	10 mL, 20 mL y 30 mL (a ₁ , a ₂ y a ₃)
Factor B. Velocidad de agitación (RPM)	20 y 40 (b ₁ y b ₂)
Variable Dependiente (Variable respuesta)	Porcentaje de remoción de turbidez (%)

La matriz del diseño experimental se presenta en la tabla 2.

Tabla 2

Matriz de diseño experimental

A \ B		Factor B	
		b ₁	b ₂
Factor A	a ₁	a ₁ b ₁	a ₁ b ₂
	a ₂	a ₂ b ₁	a ₂ b ₂
	a ₃	a ₃ b ₁	a ₃ b ₂

Este diseño, permitió identificar las posibles combinaciones para el desarrollo experimental. Por ello, se aplicó un diseño factorial de un factor (coagulante) con 3 niveles y otro factor (velocidad de agitación) con 2 niveles. Obteniendo un total de 6 tratamientos.

$$N^{\circ} \text{ de tratamientos} = 6$$

Para la determinación de los experimentos totales que abarcara coagulación se tiene:

- Número de combinaciones = 6
- Número de replicas = 2

$$N^{\circ} \text{ de tratamientos totales} = 6 * 2 = 12$$

Tabla 3

Matriz de Experimentación

N°	Dosis de coagulante (mg/L)	Velocidad de agitación (RPM)
T - 1	10	20
T - 2	10	40
T - 3	20	20
T - 4	20	40
T - 5	30	20
T - 6	30	40

Tabla 4

Combinaciones para prueba de jarras

N° experimentos	Dosis de coagulante (mg/L)	Velocidad de agitación (RPM)
1	D ₁ : 10	VA ₁ :20
2	D ₂ : 20	VA ₁ : 20
3	D ₃ : 30	VA ₁ : 20
N° experimentos	Dosis de coagulante (mg/L)	Velocidad de agitación (RPM)
4	D ₁ : 10	VA ₂ : 40
5	D ₂ : 20	VA ₂ : 40
6	D ₃ : 30	VA ₂ : 40

2.9.2. Metodología para la recolección de muestras de agua

En la presente investigación se llevó a cabo la recolección de muestras de aguas para su caracterización y análisis de precipitación química. Por ello, se consideró la R.J. N° 010-2016-ANA “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales”; para el monitoreo de la calidad ambiental del agua de cuerpos de agua donde indica los criterios y procedimientos de aplicación para el desarrollo del monitoreo de la calidad de los recursos (ANA, 2016).

2.9.3. Metodología para la caracterización de turbidez u otros parámetros

Se ejecutaron la toma de muestra antes y después del tratamiento en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte para determinar la concentración de turbidez y parámetros fisicoquímicos (pH - Conductividad Eléctrica – Sólidos Totales disueltos).

2.9.4. Metodología para la determinación del porcentaje de remoción de turbidez

Para el cálculo del porcentaje de remoción de turbidez en las aguas analizadas. Se utilizó la siguiente fórmula:

Ecuación 6: Fórmula para la determinar el porcentaje de remoción

$$\text{Eficiencia de Remoción (\%)} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Donde:

C_i = Turbidez inicial

C_f = Turbidez final

2.10. Método de Análisis de datos

Sobre los datos obtenidos de las pruebas experimentales se han ejecutado mediante el software Microsoft Excel para ingresar y filtrar las tablas con los resultados por el tratamiento de precipitación química y la determinación del porcentaje de remoción.

A través del programa Minitab 19 se hace los análisis estadísticos donde se aplica el uso de tablas de Excel y gráficas de probabilidad normal, histogramas, etc. Para la determinación de datos de los tratamientos y repeticiones dados (Tabla 6) para el análisis de la remoción de turbidez. Asimismo, para la prueba de hipótesis se usó el método inferencial, aplicando pruebas paramétricas como ANOVA para saber cuál de los tratamientos es mejor con la gráfica de interacción y efectos principales.

2.11. Técnicas

De acuerdo con Medina et al. (2023), las técnicas constituyen el conjunto de mecanismos, medios o recursos dirigidos a recolectar, conservar, analizar y transmitir los datos de los fenómenos sobre los cuales se investiga. Por consiguiente, las técnicas son procedimientos fundamentales de recolección de información, de los que se vale el investigador para acercarse a los hechos y acceder a su conocimiento.

Por lo tanto, las técnicas que se empleó para la recolección de datos en esta investigación son la de observación, donde es un elemento clave en todo proceso de la investigación se basa en saber seleccionar aquello que queremos analizar de las situaciones o conductas, la cual apoya a la tesista para obtener el mayor número de datos de manera objetiva (Díaz de Rada Igúzquiza, 2002). Por otro lado, la técnica de revisión documental, con la finalidad de recoger data de manera conjunto o independiente sobre

las variables de estudio (Hernández Sampieri et al., 2014).

Además, se aplicó los análisis químicos para la determinación de la remoción de turbidez mediante la técnica de coagulación con cloruro férrico, y el análisis de las aguas del Dren 4000 antes y después del tratamiento.

2.12. Instrumentos

(Hernández Sampieri et al., 2014) sostiene que es un recurso que utiliza el investigador para registrar información que tiene en mente. Asimismo, existen requerimientos metodológicos que deben cumplir dicho instrumento para su confiabilidad y validez. Por ende, la presente investigación se trabajó con información recolectada mediante los siguientes instrumentos:

- **Guías de observación:** Se aplicó debido a que se requiere la recolección y obtención de información del estudio de la investigación (Estrada et al., 2023).
- **Fuentes de información:** Se realizó la recolección de información por medio de fuentes secundarias como: tesis sustentadas y artículos científicos aprobados en bases de datos reconocidas como EBSCO, SCOPUS etc. Además de repositorios institucionales digitales y páginas de publicación avaladas.
- **Ficha técnica de identificación de los puntos de muestreo:** Se empleó para el levantamiento de información de los puntos de muestreo, la cual se identificó las coordenadas UTM para su ubicación y características de los puntos con evidencia fotográfica.
- **Informe de ensayo – Caracterización:** Se aplicó como evidencia de la caracterización de los parámetros fisicoquímicos realizados antes de la aplicación del tratamiento.

2.13. Materiales e Equipos

2.13.1. Materiales de Campo

Imágenes del área de estudio

- Cámara fotográfica
- Equipo de protección personal
- Frascos de vidrio y plástico de 1L
- Botas de goma
- Ice Pack
- Guantes de nitrilo
- Cooler (Preservación de muestras)
- Celular
- Croquis del área de estudio

2.13.2. Materiales de Gabinete y Laboratorio

- Laptop
- Pipetas graduadas de 10 mL
- Vasos precipitados de 1 L
- Bagueta
- Reloj de cristal
- Probeta milimétrica (1000 mL)
- Material de escritorio
- Programa estadístico Minitab
- Espátula
- Piseta

2.13.3. Equipos

- Multiparámetro pH, conductividad eléctrica.
- Turbidímetro
- Test de Jarras
- Cronómetro
- Balanza Analítica

2.13.4. Reactivos

- Cloruro de Férrico (FeCl_3)

2.14. Procedimientos

2.14.1. Ubicación del área de estudio y puntos de muestreo

El distrito de Santa Rosa se encuentra ubicado en la Provincia de Chiclayo en el departamento de Lambayeque.

El área de estudio está ubicada geográficamente en las siguientes coordenadas UTM en sistema WGS84 18S, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5

Coordenadas del área de estudio

Este	Norte
269659,24	8682910,09

Nota. Datos tomados de Google Earth.

Para la recolección de muestras primero se seleccionó un lugar representativo y estratégico, que debe ser accesible y seguro para poder tomar la muestra siguiente el protocolo de monitoreo (Tabla 10).

Tabla 6

Coordenadas de los puntos de muestreo

Punto General	Punto	Este	Norte
P – 01	P-001	629683,00	9246653,00
	P-002	629699,00	9246654,00

Nota. Datos tomados de Google Earth.

Por lo tanto, el acceso al área de estudio se realizó por medio de un camino en trocha. Además, para establecer los puntos de coordenadas de la ubicación del área de estudios y puntos muestreo se utilizó el Google Earth y la aplicación GPS Essentials en dispositivo móvil. Una vez establecidas se procedió a realizar las tomas de muestras en los puntos respectivos se procedió a programar la organización para la caracterización de la calidad del agua residual del Dren 4000 y la aplicación del tratamiento de coagulación con cloruro férrico.

Figura 3

Recorrido de la zona de muestreo



2.14.2. Caracterización de las aguas residuales de las aguas del Dren 4000

Para la planificación de la toma de las muestras, se consideró la siguiente frecuencia de fases:

Fase de toma de muestra

- Se desarrollo el croquis del área de estudio con el fin de comprender el territorio con mayor exactitud.
- En la zona de estudio, se ubicó los puntos de muestreo con la codificación P-01 y P-02 determinados en el cuerpo receptor.
- Se desarrollo a finales del mes de octubre en los 2 puntos identificados, asimismo se estableció la frecuencia donde se tomó una muestra representativa antes del tratamiento.
- Se tomo una muestra de 10 L por cada punto de muestreo haciendo un total de 10L. Pero como muestra representativa solo se tomó 8L. Previamente se preparó

los materiales, equipos con la seguridad necesaria para realizar la toma de muestra integrada que, de acuerdo con el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, a la profundidad establecida.

- Se utilizó recipientes para recolectar las muestras con un previo enjuague con agua desionizada, mínimo 2 veces.
- Se cogió el frasco de 1L desde el cuello y se sumergió en dirección opuesta al flujo del agua, sin que la tapa y contratapa toque la superficie del suelo.
- Se tomo las muestras a la superficie del cuerpo de agua para el análisis de los parámetros fisicoquímicos, donde se dejó un espacio de 1% aprox. Para la preservación y se tapó envolviéndolo con papel Kraft.
- Finalmente, se hizo el llenado de las etiquetas para su posterior rotulación y conservación en el cooler de forma vertical bajo un sistema de enfriamiento (Ice pack). Asimismo, se registraron los datos necesarios de campo y para su transporte.

Figura 4

Toma de muestra del P-001 y P-002

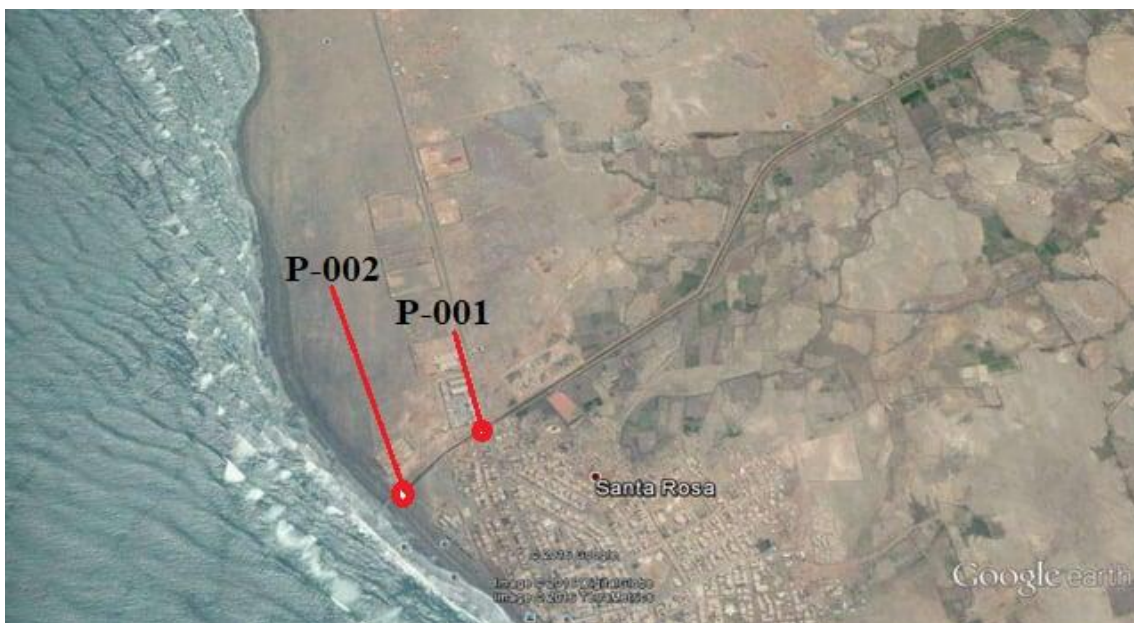


Figura 5

Preservación de muestras y rotulado.



Fase de caracterización de parámetros físicos y químicos de las aguas del Dren 4000

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos de las muestras obtenidas se realizaron los análisis respectivos en un laboratorio de biología de la Universidad Privada del norte. Donde se emplearon los preservantes necesarios como el material del frasco y temperatura de conservación a menor a 6°C, específicamente para análisis.

2.14.3. Preparación del coagulante con cloruro férrico a concentración de 500 ppm.

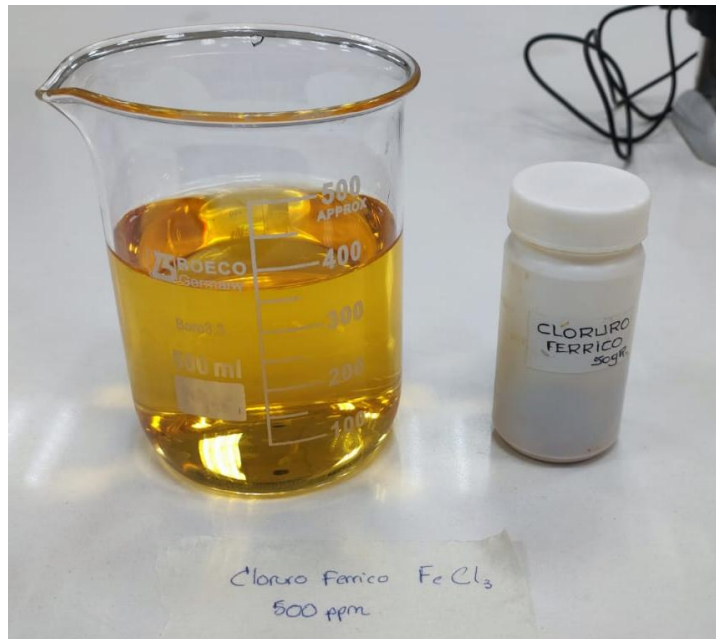
Para el tratamiento por coagulación de las aguas de mina, se colocó 500 mL de la muestra traída de agua del Dren 4000 en los vasos de precipitado para medir los parámetros iniciales de: turbidez, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales haciendo uso de los equipos en mención en el cuadro de equipos (hacer 2 repeticiones de medición y considerar el promedio).

Para la preparación del coagulante de cloruro férrico con una concentración de 500 ppm. se debe preparar con agua desionizada. Por ejemplo, para preparar 0,5 gramos de sulfato de aluminio a 500 ppm es necesario adicionar un litro de aguas desionizada. Para esta investigación, se pesó 0,5 gramos de FeCl_3 en la balanza y diluir con 1L de agua desionizada en la probeta de 1000 ml para tener una concentración de 500 ppm.

Se determinó el valor de pH de saturación de la solución de neutralización, haciendo el uso del multiparámetro.

Figura 6

Cloruro férrico FeCl_3 500 ppm



2.14.4. Tratamiento de pruebas de jarras para la remoción de turbidez

Se consideraron 6 jarras de 500 mL para los 6 tratamientos. Ante ello, se alistó las cantidades variables de solución de cloruro férrico para cada uno de los vasos (10 mg/L \diamond 10mL; 20 mg/L \diamond 20mL; 30 mg/L \diamond 30mL).

Luego, se rotulo los vasos de precipitado según la dosis y velocidad de agitación.

Después, una vez medido los parámetros iniciales y las dosis óptimas del coagulante, colocar las dosis de coagulante de cloruro férrico en los vasos de precipitado que contienen las muestras.

Sucesivamente, se colocó los vasos de precipitado que contienen las dosis de coagulante en los equipos de prueba de jarras. Para encender los floculadores y ajustar la primera velocidad de mezcla rápida a 200 RPM por un minuto.

Pasado el minuto, se redujo las velocidades de agitación de acuerdo con lo mencionado en el cuadro de velocidades de agitación “Mezcla lenta” y se programó la agitación por 30 minutos.

Luego, se siguió las combinaciones que se mencionan en el cuadro de combinaciones por bloque (Tabla 4). Después, repetir el mismo procedimiento de las agitaciones en los equipos de prueba de jarras por 30 minutos.

Finalmente, se retiraron los agitadores y observaron la sedimentación de los flóculos luego de 30 minutos, para realizar la medición de los parámetros de: turbidez (NTU), pH, conductividad eléctrica (Ce) y solidos disueltos totales en el sobrenadante. (Hacer 2 repeticiones de medición y considerar el promedio).

Los resultados obtenidos de las mediciones de cada tratamiento son registrados en la base de datos de Excel para su posterior análisis de eficiencia.

Figura 1

Prueba de Jarras



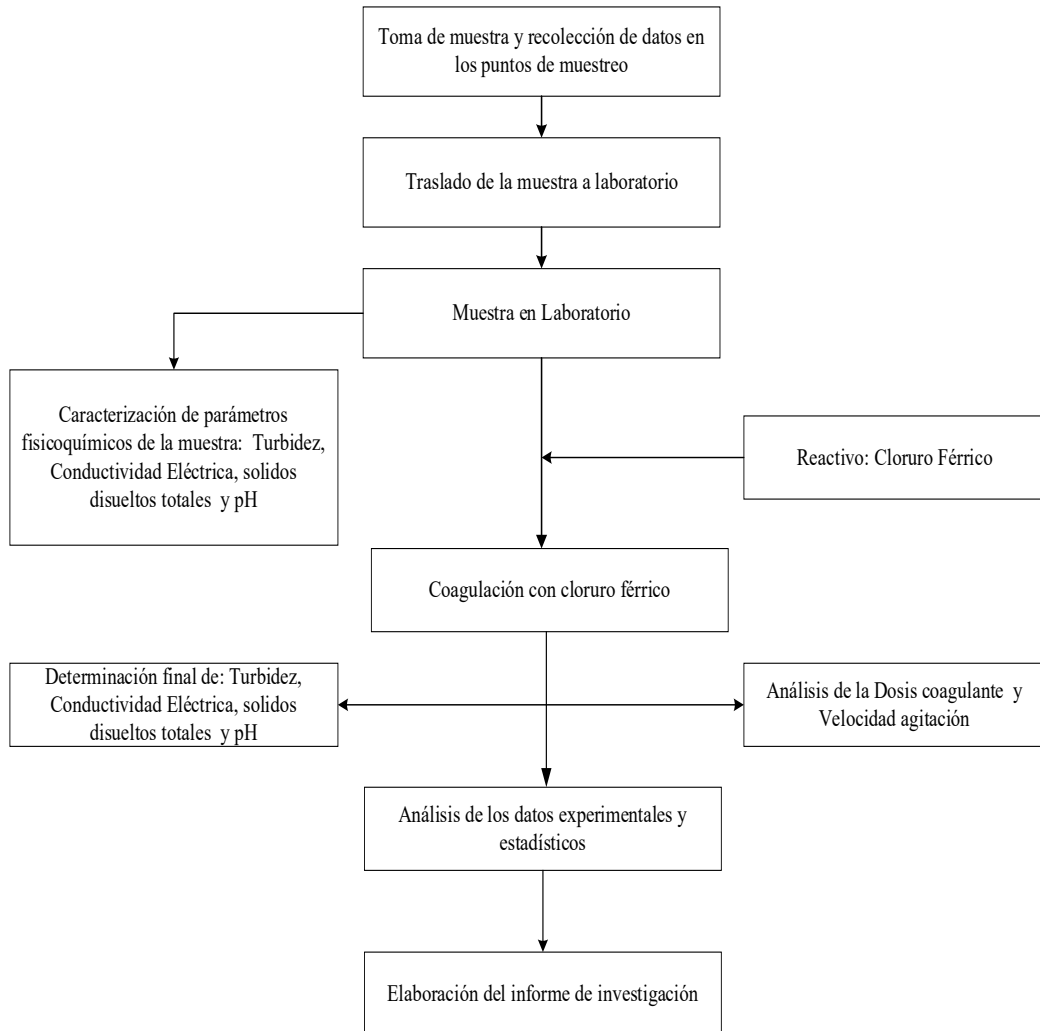
Porcentaje de remoción de turbidez

Se procedió a medir el contenido de turbidez residual en los 12 tratamientos, comparado este con los iniciales previo al tratamiento, se consiguió evaluar el porcentaje de remoción de turbidez.

$$\text{Eficiencia de Remoción (\%)} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Figura 2

Procedimiento general del estudio.



2.14.5. Validez y confiabilidad de información

La validez se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir donde se evaluarán la claridad, coherencia y relevancia de los instrumentos diseñados para el objetivo propuesto.

Por otro lado, la confiabilidad de un instrumento de medición es el grado en que

su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales con la misma prueba (Hernández Sampieri et al., 2014).

Para la presente investigación la validez y confiabilidad fue realizada en la calibración de los equipos del turbidímetro y multiparámetro, para caracterización y análisis de tratamiento con sus respectivas fichas de calibración.

Tabla 7

Norma de Referencia de los análisis

Tipo de Ensayo	Norma de Referencia	Título
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017	Conductivity. Laboratory Method.
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method.
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130-H+ B, 23 rd Ed. 2017	Turbidity. Nephelometric Method.

2.15. Análisis de datos estadísticos

Luego de obtener los resultados de análisis químicos a las muestras (soluciones), se procedió a realizar el análisis respectivo de los datos obtenidos y registrados en Microsoft Excel en función de las variables empleadas (Tabla 3). Para el análisis se aplicó pruebas paramétricas con el programa Minitab 19 donde se aplica el uso de tablas de Excel. Para ello, se crea un diseño factorial de un factor (coagulante) con 3 niveles y otro

factor (velocidad de agitación) con 2 niveles, y se agregan los resultados de la variable respuesta: Remoción de turbidez donde se analizaron y determinaron su ANOVA para saber cuál de los tratamientos es mejor con la gráfica de interacción y efectos principales y corroborado con un post hoc Prueba de Tukey.

2.16. Aspectos éticos de la investigación

Para la presente investigación se realizó de acuerdo con el formato establecido por la Universidad Privada del Norte, donde la autora debe tener cuenta cumplir con la normativa institucional que rigen en todo trabajo de investigación debe respetar al derecho de autor, citando a todas las fuentes que han sido consultadas y consideradas sin incurrir en plagio, y referenciándolos, empleando la normativa APA 7^{ma} edición. Por otro lado, revelar las fuentes y hallazgos informativos considerados para el presente trabajo como información abierta y completa al público, cuyos resultados serán mostrados y compartidos para futuras investigaciones de la comunidad científica. Además, se cumplieron con las normas técnicas y estándares mínimos para la toma de muestra, y no crear ningún otro tipo de afectación al medio en nuestro papel de investigador debido a que no solo se interactúa con el medio ambiente sino también con los ciudadanos del Distrito.

De igual forma en el cumplimiento de los protocolos establecidos por el Estado para la protección personal en la toma de la muestra y durante el análisis de laboratorio con los equipos de protección personal.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Caracterización fisicoquímicamente las aguas del Dren 4000.

La Tabla 8 muestra aguas con turbidez alta en ambos puntos de muestreo, con valores de 260 y 190 NTU y un promedio de 225 ± 35 NTU. Estos resultados confirman la presencia de una carga importante de sólidos en suspensión y coloides, consistente con descargas domésticas, industriales y agrícolas a lo largo del Dren 4000. El pH promedio de $6,8 \pm 0,8$ se sitúa entre ligeramente ácido y ligeramente alcalino, rango cercano a la neutralidad que resulta compatible con procesos de coagulación con cloruro férrico sin ajustes drásticos de pH. La conductividad de 5,500 y 4,100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con promedio de $4,800 \pm 700$ $\mu\text{S}/\text{cm}$, evidencia un grado elevado de sales disueltas y una fuerte mineralización del agua. En ese contexto, estos parámetros respaldan la hipótesis de un efluente con alto nivel de contaminación y justifican el enfoque del estudio en la remoción de turbidez como paso clave para reducir la carga de sólidos y mejorar la calidad del agua antes de su descarga al medio marino.

Tabla 8

Caracterización fisicoquímica de las aguas del Dren 4000

Parámetro	Unidad	Punto 1	Punto 2	Promedio
Turbidez	NTU	260	190	225 ± 35
pH	-	6	7,6	$6,8 \pm 0,8$
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	5,500	4,100	$4,800 \pm 700$

3.2. Determinación de las condiciones óptimas de coagulación con cloruro férrico para la remoción de turbidez.

La Tabla 9 muestra que todos los tratamientos reducen la turbidez inicial de 225 NTU a valores de un dígito, con diferencias marcadas según la dosis de cloruro férrico y la velocidad de agitación. Con 10 mg/L, la turbidez final se ubica entre 9,1 y 6,9 NTU, mientras que con 20 mg/L baja a un rango de 5,1 a 2,9 NTU. La dosis de 30 mg/L alcanza

los mejores resultados, con valores entre 2,1 y 0,7 NTU, cercanos a un agua claramente clarificada. La agitación a 40 rpm genera en todos los casos turbideces menores que a 20 rpm, lo que indica una floculación más eficiente y flóculos con mejor sedimentación. Estos patrones confirman que el aumento de dosis y velocidad de agitación mejora la eficiencia de remoción de turbidez y orienta la definición del tratamiento óptimo.

Tabla 9

Turbidez final para cada tratamiento.

Dosis FeCl₃ (mg/L)	Velocidad (RPM)	Turbidez final (NTU)	Repetición
10	20	9,1	1
10	40	7,1	1
20	20	5,1	1
20	40	3,1	1
30	20	2,1	1
30	40	0,9	1
10	20	8,9	2
10	40	6,9	2
20	20	4,9	2
20	40	2,9	2
30	20	1,9	2
30	40	0,7	2

La Tabla 10 muestra porcentajes de remoción de turbidez muy altos en todos los tratamientos, con valores entre 95,96 y 99,69 %. Esto indica que las aguas del Dren 4000 responden bien a la coagulación con cloruro férrico, ya que a partir de una turbidez promedio inicial de 225 NTU se logra una clarificación casi completa bajo todas las combinaciones de dosis y velocidad de agitación.

Al analizar la dosis a velocidad constante se observa un patrón claro. A 20 rpm, el aumento de 10 a 20 mg/L de FeCl₃ eleva la remoción de alrededor de 96,0 a 97,8 %, y con 30 mg/L se alcanza cerca de 99,1 %. A 40 rpm el efecto es aún más marcado, ya que

con 10 mg/L se logra cerca de 96,9 %, con 20 mg/L alrededor de 98,7 % y con 30 mg/L aproximadamente 99,6 %. Esto indica que el incremento de la dosis mejora de forma sostenida la eficiencia de remoción, y que la combinación con mayor velocidad favorece la formación de flóculos más densos y sedimentables.

Las diferencias entre repeticiones son mínimas, del orden de 0,08 puntos porcentuales, lo que refleja buena reproducibilidad experimental y control adecuado de las condiciones de prueba. El tratamiento con 30 mg/L y 40 rpm se posiciona como condición óptima, ya que combina la mayor remoción de turbidez con baja variabilidad, lo que respalda su selección para la comparación posterior con los Estándares de Calidad Ambiental y para eventuales propuestas de diseño de un sistema de tratamiento para el Dren 4000.

Tabla 10

Porcentaje de remoción de turbidez para cada tratamiento.

Dosis FeCl₃ (mg/L)	Velocidad (RPM)	Porcentaje Remoción Turbidez (NTU)	Repetición
10	20	95,96	1
10	40	96,84	1
20	20	97,73	1
20	40	98,62	1
30	20	99,07	1
30	40	99,60	1
10	20	96,04	2
10	40	96,93	2
20	20	97,82	2
20	40	98,71	2
30	20	99,16	2
30	40	99,69	2

La Tabla 11 resume los factores controlados en el diseño factorial aplicado a las pruebas de coagulación con cloruro férrico. Se considera como primer factor la dosis de

FeCl₃, con tres niveles de 10, 20 y 30 mg/L, y como segundo factor la velocidad de agitación lenta, con dos niveles de 20 y 40 rpm. Esta combinación genera seis tratamientos distintos, que después se evaluaron con réplicas para analizar su efecto sobre la remoción de turbidez en las aguas del Dren 4000.

El rango de dosis seleccionadas cubre un tramo bajo, medio y alto de concentración de coagulante para un agua con turbidez inicial elevada, lo que permite observar la respuesta del sistema frente a incrementos graduales de FeCl₃ y definir la zona de máxima eficiencia sin llegar a sobredosisificación. En el caso de la velocidad, 20 rpm representa una floculación más suave y 40 rpm una mezcla lenta más intensa, lo que ayuda a comparar la formación y estabilidad de los flóculos bajo condiciones hidrodinámicas distintas. En conjunto, la información de la Tabla 11 ordena los factores clave del diseño 3×2, sirve de base para el análisis de varianza presentado en las tablas posteriores y orienta la identificación de la combinación de dosis y velocidad más eficiente y viable para un futuro sistema de tratamiento aplicado al Dren 4000.

Tabla 11

Información de los factores.

Factor	Niveles	Valores
Dosis FeCl ₃ (mg/L)	3	10; 20; 30
Velocidad (RPM)	2	20; 40

La Tabla 12 evidencia un modelo factorial altamente significativo para la remoción de turbidez. El modelo explica prácticamente toda la variabilidad observada, con un valor F de 978,67 y un valor p de 0,000, lo cual indica que existen diferencias claras entre tratamientos y que la combinación de factores seleccionada describe de forma sólida la respuesta de turbidez.

El componente lineal concentra casi toda la suma de cuadrados explicada, con 97,44 unidades frente a solo 0,12 asociadas al error. Dosis de FeCl₃ aporta 88,43 unidades de la suma de cuadrados y muestra un valor F de 2210,67 con p de 0,000, por lo que se confirma que la variación en la dosis influye de manera decisiva en el porcentaje de remoción. Velocidad de agitación aporta 9,01 unidades de la suma de cuadrados, con F de 450,67 y p de 0,000, lo cual demuestra un efecto importante, aunque menor que el de la dosis.

La interacción Dosis*Velocidad presenta una suma de cuadrados de 0,43 y un valor F de 10,67 con p de 0,011. Aunque el tamaño del efecto es reducido frente a los componentes principales, el resultado indica que la respuesta no depende solo de cada factor por separado, sino también de la combinación específica entre dosis y velocidad. En términos prácticos, esto respalda la búsqueda de un tratamiento óptimo basado en ambos factores de manera conjunta y justifica el uso posterior de la prueba de Tukey para identificar qué niveles de dosis y velocidad generan las diferencias más marcadas en la turbidez final.

Tabla 12

Análisis de Varianza (ANOVA) del diseño Factorial.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	97,8667	19,5733	978,67	0,000
Lineal	3	97,4400	32,4800	1624,00	0,000
Dosis FeCl ₃ (mg/L)	2	88,4267	44,2133	2210,67	0,000
Velocidad (RPM)	1	9,0133	9,0133	450,67	0,000
Interacciones de 2 términos	2	0,4267	0,2133	10,67	0,011
Dosis FeCl ₃ (mg/L)*Velocidad (RPM)	2	0,4267	0,2133	10,67	0,011
Error	6	0,1200	0,0200		
Total	11	97,9867			

La Tabla 13 muestra un ajuste estadístico excelente del modelo factorial para la remoción de turbidez. El valor de $S = 0,141421$ indica que el error estándar de los residuos es muy bajo, del orden de 0,14 unidades de la variable respuesta, lo que significa que las diferencias entre valores observados y valores estimados por el modelo son pequeñas frente a los niveles de turbidez removida reportados en la Tabla 10. Esto coincide con la suma de cuadrados del error casi nula descrita en el ANOVA y respalda la calidad del ajuste obtenido.

El R-cuadrado de 99,88 % señala que el modelo explica prácticamente toda la variabilidad del porcentaje de remoción de turbidez entre tratamientos, mientras que el R-cuadrado ajustado de 99,78 % confirma que esa capacidad explicativa se mantiene aun considerando el número de términos incluidos en el modelo. A la vez, el R-cuadrado predicho de 99,51 % indica que el modelo conserva buena capacidad para estimar nuevos datos dentro del mismo rango de dosis y velocidades, lo que da confianza para usarlo en la selección del tratamiento óptimo. En conjunto, estos indicadores muestran que el diseño factorial 3×2 con dosis de FeCl_3 y velocidad de agitación describe de forma robusta la remoción de turbidez en las aguas del Dren 4000 y que las conclusiones derivadas del ANOVA y de la prueba de Tukey se apoyan en un modelo estadístico sólido y confiable.

Tabla 13

Resumen del modelo del diseño Factorial.

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0,141421	99,88%	99,78%	99,51%

La Tabla 14 muestra los resultados de la prueba de Tukey aplicada a la dosis de FeCl_3 , con un nivel de confianza de 95 %, y confirma que las tres dosis evaluadas generan efectos claramente distintos sobre la respuesta. Las medias asociadas a cada grupo son de 8,0 NTU para 10 mg/L, 4,0 NTU para 20 mg/L y 1,4 NTU para 30 mg/L. Cada dosis forma una agrupación distinta, A, B y C, lo que indica que las diferencias entre las tres medias son estadísticamente significativas y no se traslapan entre sí.

El grupo A, correspondiente a 10 mg/L, presenta la turbidez residual más alta, por lo que representa la condición menos eficiente dentro del rango estudiado. El grupo B, con 20 mg/L, reduce la turbidez a la mitad respecto de la dosis menor, lo que refleja una mejora clara en la eficiencia del proceso de coagulación. El grupo C, con 30 mg/L, alcanza la media más baja de turbidez, cercana a 1,4 NTU, que se alinea con los porcentajes de remoción superiores a 99 % reportados en la Tabla 10 y con la selección de este nivel como tratamiento óptimo.

El tamaño muestral de cuatro observaciones por dosis aporta soporte estadístico adecuado a la comparación y coincide con el diseño factorial con réplicas. En conjunto, la prueba de Tukey ratifica lo observado en el ANOVA, refuerza que el incremento de dosis tiene un efecto significativo y ordenado sobre la reducción de turbidez y respalda la recomendación de trabajar en el entorno de 30 mg/L de FeCl_3 para el diseño de un esquema de tratamiento aplicado a las aguas del Dren 4000.

Tabla 14

Prueba de Tukey con una confianza del 95% para dosis de FeCl_3 .

Dosis FeCl_3 (mg/L)	N	Media	Agrupación		
10	4	8,000	A		
20	4	4,000		B	
30	4	1,400			C

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La Tabla 15 muestra el resultado de la prueba de Tukey aplicada al factor velocidad de agitación con 95 % de confianza. La velocidad de 20 rpm, con 6 observaciones, presenta una media de turbidez residual de 5,33 NTU y se agrupa en la categoría A. La velocidad de 40 rpm, también con 6 observaciones, alcanza una media de 3,60 NTU y se ubica en la categoría B. Dado que las letras de agrupación no se repiten, la diferencia entre ambas medias es estadísticamente significativa, por lo que la agitación a 40 rpm reduce la turbidez de forma más eficiente que a 20 rpm en las condiciones evaluadas.

Este resultado complementa lo observado en el ANOVA y en la Tabla 9. A igual dosis de $FeCl_3$, la mayor velocidad de agitación lenta favorece colisiones entre partículas, genera flóculos más compactos y mejora la sedimentación, lo que se traduce en menores valores de turbidez final. El tamaño muestral de 6 ensayos por nivel de velocidad, producto de combinar tres dosis con dos repeticiones, respalda la solidez de la comparación.

Desde el punto de vista operativo, la prueba de Tukey indica que, dentro del rango analizado, resulta más conveniente trabajar con 40 rpm en la etapa de floculación. Esta condición potencia el efecto de la dosis óptima de 30 mg/L de $FeCl_3$ y contribuye a consolidar un esquema de tratamiento capaz de llevar la turbidez del Dren 4000 a valores compatibles con los estándares de calidad ambiental planteados en el estudio.

Tabla 15

Prueba de Tukey con una confianza del 95% para velocidad.

Velocidad (RPM)	N	Media	Agrupación	
20	6	5,33	A	
40	6	3,60		B

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

3.3. Comparación de los resultados del mejor tratamiento de coagulación con cloruro férrico con los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales).

La Tabla 16 muestra que, después del tratamiento por coagulación con cloruro férrico, todas las combinaciones de dosis y velocidad entregan un efluente con turbidez de un dígito, conductividades entre 136 y 310 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y valores de pH entre 6,5 y 6,8. Para la categoría 3 del D.S. 004-2017 MINAM, los Estándares de Calidad Ambiental consideran como rango aceptable de conductividad hasta 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y pH entre 6,5 y 8,5, de modo que los seis tratamientos cumplen los límites fijados para riego de vegetales y bebida de animales.

Aunque la normativa de categoría 3 no fija un valor numérico de turbidez, la comparación de resultados evidencia una reducción importante frente al valor inicial promedio de 225 NTU. Los tratamientos con 10 mg/L dejan turbideces de 9,0 y 7,0 NTU, los de 20 mg/L alcanzan 5,0 y 3,0 NTU y los de 30 mg/L descienden hasta 2,0 y 0,8 NTU. La combinación de 30 mg/L y 40 rpm presenta el mejor desempeño global, con la menor turbidez residual (0,8 NTU), la conductividad más baja (136 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y pH 6,5, en línea con la condición óptima identificada en las tablas previas.

Por lo tanto, la Tabla 16 muestra que el aumento de dosis y la mayor velocidad de agitación no solo incrementan la remoción de turbidez, también generan un efluente con salinidad baja y pH adecuado para usos agrícolas y pecuarios de la categoría 3. Estos resultados indican que un esquema de tratamiento basado en 30 mg/L de cloruro férrico y 40 rpm permite transformar un agua altamente contaminada en un efluente compatible con los estándares ambientales aplicables y más seguro para el riego y la bebida de animales en el entorno del Dren 4000.

Tabla 16

Comparación con estándares de calidad ambiental aplicables.

Dosis FeCl3 (mg/L)	Velocidad (RPM)	Turbidez (NTU)	ECA Cat. 3 – D1* y D2**	Conductividad (µS/cm)	ECA Cat. 3 – D1* y D2** µS/cm	pH	ECA Cat. 3 – D1* y D2**
10	20	9,0	NA	310	2500 - 5000	6.8	6.5 – 8.5
10	40	7,0	NA	296	2500 - 5000	6.8	6.5 – 8.5
20	20	5,0	NA	194	2500 - 5000	6.7	6.5 – 8.5
20	40	3,0	NA	188	2500 - 5000	6.7	6.5 – 8.5
30	20	2,0	NA	145	2500 - 5000	6.5	6.5 – 8.5
30	40	0,8	NA	136	2500 - 5000	6.5	6.5 – 8.5

*Subcategoría D1: Riego de vegetales

**Subcategoría D2: Bebida de animales

NA: No aplica

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Del objetivo general; Los resultados de las Tablas 8 a 16 muestran que la coagulación con cloruro férrico remueve de forma muy eficiente la turbidez de las aguas del Dren 4000. El agua cruda presenta una turbidez promedio de 225 NTU, pH cercano a la neutralidad y conductividad elevada, lo que confirma una carga importante de sólidos en suspensión y sales disueltas. Después del tratamiento, la turbidez desciende a valores entre 9,1 y 0,7 NTU según la combinación de dosis y velocidad, con porcentajes de remoción entre 95,96 y 99,69 %, mientras que pH y conductividad se mantienen en rangos compatibles con la categoría 3 del D.S. 004-2017 MINAM.

La interpretación integrada de las Tablas 9 y 10 indica que el aumento de dosis desde 10 hasta 30 mg/L y el uso de 40 rpm en la mezcla lenta incrementan de manera sistemática la eficiencia de remoción. Con 10 mg/L se obtiene una turbidez final todavía apreciable, aunque ya dentro de un solo dígito. Con 20 mg/L la turbidez se reduce a la mitad y con 30 mg/L se alcanzan valores cercanos a 1 NTU. Esta respuesta escalonada se alinea con la teoría de coagulación y floculación, que atribuye a la dosis de coagulante un papel central en la desestabilización de coloides y en la formación de flóculos de barrido en aguas de alta turbidez (Duncan et al., 2026; Hernández et al., 2016). El efecto de la velocidad de agitación también resulta coherente con la literatura, ya que una mezcla lenta más intensa favorece colisiones entre partículas y genera flóculos más densos y sedimentables (Barros et al., 2022; Dollah et al., 2020).

La autenticidad de los resultados se apoya en el diseño experimental y en la calidad del ajuste estadístico. El diseño factorial 3×2 con réplicas permite evaluar de manera conjunta dosis y velocidad sobre el porcentaje de remoción, y el ANOVA muestra

un modelo altamente significativo, con valor F global cercano a 979, p menor de 0,05 y R cuadrado de 99,88 %. La dosis de FeCl_3 explica la mayor parte de la variación, seguida de la velocidad de agitación, y la interacción entre ambos factores también resulta significativa, lo que confirma que la respuesta de turbidez depende de la combinación específica de niveles (Abdel-Basser et al., 2024). El error cuadrático medio muy bajo y el valor de S de 0,14 indican residuos pequeños frente a porcentajes de remoción cercanos a 100 %. Los resultados de la prueba de Tukey refuerzan este comportamiento, ya que separan con claridad las tres dosis y las dos velocidades en grupos estadísticamente distintos (Acosta Rodríguez et al., 2018). Todo esto, sumado al uso de equipos calibrados, réplicas y un protocolo de medición consistente, respalda la confiabilidad de los valores reportados para turbidez, pH y conductividad.

Al comparar el desempeño observado con otros estudios, la eficiencia del cloruro férrico en el Dren 4000 se ubica dentro del rango superior reportado en la literatura. Investigaciones con FeCl_3 en efluentes industriales y aguas superficiales describen remociones de turbidez entre 80 y 99,5 % al ajustar adecuadamente la dosis, el pH y los tiempos de sedimentación (Acosta Rodríguez et al., 2018; Al-Anzi et al., 2022; Sakhi et al., 2020; Yanza-López et al., 2019). En esta tesis se alcanzan remociones entre 98,62 y 99,69 % con dosis de 20 a 30 mg/L, en un agua con turbidez inicial mucho más alta que la de varios de esos trabajos, lo que indica un desempeño competitivo, incluso con dosis relativamente moderadas. La comparación con experiencias nacionales que usan coagulantes químicos o naturales en el Dren 4000 también sugiere que el cloruro férrico logra remociones rápidas y elevadas, con tiempos de operación más cortos que opciones como macrófitas o biocoagulantes, que requieren días o semanas de retención (Castillo Silva & Lizana Peña, 2024; Ramírez Flores, 2017; Solano Carrion, 2019).

La significación de estos resultados para el objetivo general es alta. La coagulación con FeCl_3 permite pasar de un cuerpo de agua con turbidez elevada, asociado a sólidos finos, materia orgánica y patógenos, a un efluente con turbidez de un dígito e incluso inferior a 1 NTU en el tratamiento óptimo. Esta reducción mejora la apariencia del agua, facilita procesos posteriores de desinfección, disminuye el consumo de desinfectantes y reduce la formación de subproductos peligrosos, aspectos resaltados por estudios sobre potabilización y tratamiento de aguas residuales (Hernández et al., 2016; Ricardo et al., 2026). La comparación con los ECA categoría 3 muestra que, además de remover turbidez, el tratamiento deja pH entre 6,5 y 6,8 y conductividad muy por debajo del límite de 5 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que configura un efluente apto para riego de vegetales y bebida de animales. Esto da soporte técnico para considerar la coagulación con FeCl_3 como alternativa concreta en propuestas de mejora de la calidad del agua del Dren 4000 antes de su descarga al mar de Santa Rosa (Al-Anzi et al., 2022).

Desde una lectura más conceptual, el conjunto de tablas confirma que la eficiencia de remoción se sustenta en mecanismos de neutralización de carga y floculación por barrido, favorecidos por una turbidez inicial alta y un pH cercano a la neutralidad, condiciones que la literatura identifica como favorables para la formación de hidróxidos férricos con alta capacidad de adsorción (Cerón P., 2016; Hadadi et al., 2022). El modelo factorial muestra que no basta con aplicar FeCl_3 , sino que se requiere combinar una dosis adecuada con una hidrodinámica apropiada para aprovechar al máximo esos mecanismos, lo que refuerza el carácter explicativo y aplicativo del estudio.

A pesar de estos resultados favorables, el trabajo presenta limitaciones que condicionan el alcance del objetivo general. La evaluación se realiza a partir de una campaña de muestreo puntual y de una muestra compuesta, por lo que no se analiza la

variación temporal de la calidad del agua ni la respuesta del sistema frente a cambios estacionales de turbidez o carga orgánica (Alshahri et al., 2023). El análisis se concentra en turbidez, pH y conductividad, sin incluir sólidos suspendidos totales, materia orgánica, metales o parámetros microbiológicos que permitirían evaluar de forma integral el efecto del tratamiento sobre el cumplimiento de la normativa. No se estudia la generación ni la gestión de lodos, ni se calculan costos de operación, elementos claves para un diseño a escala piloto o real. Además, el rango de dosis y velocidades evaluado es acotado, por lo que podrían existir combinaciones alternativas que optimicen aún más la eficiencia o reduzcan el consumo de coagulante. Con todo, dentro de las condiciones definidas, la evidencia experimental y estadística permite afirmar que la coagulación con cloruro férrico logra remociones de turbidez muy elevadas en las aguas del Dren 4000 y cumple de manera sólida el objetivo de evaluación planteado.

Con respecto al objetivo específico 1; la caracterización fisicoquímica del Dren 4000 muestra aguas con turbidez alta, pH cercano a la neutralidad y conductividad elevada, lo que confirma un efluente con fuerte carga de sólidos en suspensión y sales disueltas. La turbidez promedio de 225 ± 35 NTU indica un cuerpo de agua marcadamente cargado con partículas finas, materia orgánica y coloides, coherente con la mezcla de aguas residuales domésticas, efluentes industriales y escorrentía agrícola señalada para este dren. El pH promedio de $6,8 \pm 0,8$ se mantiene dentro de un rango adecuado para procesos de coagulación con cloruro férrico, mientras la conductividad de $4\ 800 \pm 700$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ evidencia una mineralización elevada que refleja aportes continuos de sales y sustancias disueltas a lo largo del recorrido del dren (Ameh et al., 2025).

La autenticidad de estos resultados se sustenta en el diseño metodológico. La toma de muestras sigue el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales de la ANA, con puntos de muestreo georreferenciados, volúmenes suficientes para repetición de análisis y preservación en frío hasta el procesamiento en laboratorio (ANA, 2016). La caracterización se realiza con equipos calibrados (multiparámetro para pH y conductividad, turbidímetro y normas SMEWW para cada parámetro), lo que respalda la confiabilidad de las lecturas (Analy Chávez Zamora et al., 2025). El uso de duplicados y el cálculo de promedios con desviación estándar refuerzan el control de variabilidad analítica y otorgan solidez a los valores reportados en la Tabla 8.

Al comparar con estudios previos, los valores encontrados se alinean con la condición de fuerte impacto ya descrita para el Dren 4000 y su desembocadura en Santa Rosa. Investigaciones anteriores reportan incumplimientos reiterados de los ECA con DQO y DBO5 extremas, presencia de coliformes fecales y turbidez elevada asociada a descargas domésticas e industriales en el tramo final del dren (Castillo Silva & Lizana Peña, 2024; Purisaca Enriquez, 2020; Ruiz Ocaña & Bravo Torres, 2024). De igual forma, trabajos sobre la franja marino costera documentan coloración oscura, sólidos flotantes y espumas en la zona de descarga, condiciones compatibles con los niveles de turbidez aquí registrados (Barros et al., 2022). Estos antecedentes confirman que los resultados actuales no corresponden a un episodio aislado, sino a una situación crónica de degradación de la calidad del agua en el Dren 4000.

En términos de significación, los valores de turbidez y conductividad de la Tabla 8 reflejan riesgos ambientales y sanitarios relevantes. Turbideces superiores a 200 NTU reducen la penetración de luz, alteran procesos fotosintéticos, favorecen condiciones de

anoxia y actúan como vehículo para microorganismos patógenos y microcontaminantes adsorbidos, lo que coincide con la literatura internacional sobre cuerpos de agua impactados por descargas urbanas e industriales (Duncan et al., 2026; Hernández et al., 2016). Desde la normativa nacional, el D.S. 004-2017 MINAM considera la turbidez como parámetro clave para usos poblacionales y recreativos, mientras la conductividad de 4 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se ubica cerca del límite superior de la categoría 3 para riego y bebida de animales (California State Water Resources Control Board, 2025). Estos resultados justifican el enfoque de la tesis en la remoción de turbidez mediante coagulación con cloruro férrico como paso estratégico previo a cualquier descarga al medio marino.

Al mismo tiempo, la caracterización evidencia condiciones operativas favorables para el tratamiento. Un pH cercano a la neutralidad se considera adecuado para la formación de hidróxidos férricos con alta capacidad floculante, tal como señalan estudios sobre coagulación con FeCl_3 en aguas superficiales e industriales con alta turbidez (Al-Anzi et al., 2022; Sakhi et al., 2020). La combinación de alta turbidez y pH entre 6 y 7,6 favorece mecanismos de floculación por barrido, aspecto que se retoma en el diseño factorial de dosis y velocidades de agitación desarrollado en los apartados posteriores de la tesis (Caso Rupay & Laureano Estrella, 2018).

La investigación presenta limitaciones que es necesario reconocer. La caracterización se realiza en dos puntos de muestreo y en una campaña puntual hacia finales de octubre, de modo que no se dispone de información sobre variación temporal asociada a estiaje, avenida o cambios en las descargas de origen doméstico e industrial (Castillo Silva & Lizana Peña, 2024). El análisis fisicoquímico se centra en turbidez, pH y conductividad, sin inclusión de parámetros microbiológicos, nutrientes, metales o materia orgánica, que permitirían un diagnóstico integral de la calidad del agua. Tampoco

se incorporan datos de caudal ni de carga contaminante, lo que restringe la extrapolación directa a balances de masa o a diseños a escala real. A pesar de estas limitaciones, la Tabla 8 ofrece una línea base representativa para el objetivo específico 1 y brinda insumos suficientes para sustentar el diseño experimental de coagulación que se desarrolla en las siguientes secciones.

Con respecto al objetivo específico 2, las Tablas 9 y 10 muestran que la coagulación con cloruro férrico reduce la turbidez inicial de 225 NTU a valores entre 9,1 y 0,7 NTU, con porcentajes de remoción entre 95,96 y 99,69 %. Esta tendencia se mantiene en todas las combinaciones de dosis y velocidades, lo que indica una respuesta consistente del agua del Dren 4000 al tratamiento. El incremento de la dosis de FeCl_3 desde 10 hasta 30 mg/L y el uso de 40 rpm en la agitación lenta generan turbideces residuales cercanas a 1 NTU, lo que se interpreta como un nivel de clarificación alto para un agua con turbidez inicial elevada (Cerón P., 2016).

La interpretación de las Tablas 11, 12 y 13 confirma esta lectura desde el análisis estadístico. El modelo factorial 3×2 presenta un valor F global de 978,67 y valor p de 0,000, con R cuadrado de 99,88 %, lo que indica que la combinación de dosis y velocidad describe casi toda la variabilidad de la remoción de turbidez. La dosis de FeCl_3 concentra la mayor parte de la suma de cuadrados (88,43 unidades) y registra un F de 2210,67, mientras la velocidad aporta 9,01 unidades y un F de 450,67, ambos con p de 0,000. La interacción dosis*velocidad también resulta significativa, con F de 10,67 y p de 0,011. Este patrón respalda la idea de que la respuesta de turbidez no depende solo de cada factor por separado, sino de la combinación específica entre concentración de coagulante y régimen de mezcla, lo que coincide con el marco teórico que señala la importancia

conjunta de dosis, pH y condiciones hidrodinámicas en la coagulación con FeCl_3 (Al-Anzi et al., 2022; Sakhi et al., 2020).

La autenticidad y consistencia de los resultados se refuerza con la baja dispersión de los datos y el diseño experimental. Las diferencias entre repeticiones en la Tabla 10 son del orden de centésimas de punto porcentual, lo que evidencia un buen control de las condiciones de laboratorio y una ejecución estable de las pruebas de jarras. El error cuadrático medio de 0,020 y el valor de S de 0,141421 indican residuos pequeños en comparación con los porcentajes de remoción cercanos a 100 %. Este comportamiento se alinea con el protocolo de trabajo descrito en la metodología, que incluye calibración de equipos, réplicas y registro detallado de las condiciones de cada tratamiento (Castillo et al., 2014). La prueba de Tukey para dosis (Tabla 14) y velocidad (Tabla 15) refuerza la robustez del modelo, ya que cada nivel de FeCl_3 forma un grupo distinto y las dos velocidades se diferencian de manera significativa, sin traslape en las letras de agrupación.

La comparación con otros estudios sitúa estos resultados dentro del rango esperado para la coagulación con cloruro férrico en aguas con alta carga de sólidos. Al-Anzi et al. (2022) reportan remociones de turbidez de hasta 99,5 % en efluentes de la industria azulejera con dosis de 50 mg/L de FeCl_3 y una hora de sedimentación, mientras Sakhi et al. (2020) alcanzan remociones superiores a 93 % en efluentes textiles con 0,8 g/L de FeCl_3 y ajustes de pH. Yanza-López et al. (2019) encuentran eficiencias cercanas a 80 % en agua cruda de baja turbidez con dosis entre 34 y 47 mg/L, y Acosta Rodríguez et al. (2018) registran remociones de hasta 97,88 % en el río Santa con 45 mL de FeCl_3 y 30 minutos de agitación lenta. En ese contexto, remociones entre 98,62 y 99,69 % con dosis de 20 a 30 mg/L en aguas del Dren 4000 se consideran coherentes y competitivas

frente a la literatura, incluso con una concentración de coagulante menor que en varios de esos antecedentes (Choque-Quispe et al., 2024).

La significación práctica de las condiciones óptimas es clara. El tratamiento con 30 mg/L de $FeCl_3$ y 40 rpm logra turbideces residuales entre 0,9 y 0,7 NTU, con remociones cercanas a 99,6 y 99,69 %. Estos valores permiten pasar de un agua fuertemente turbia, asociada a sólidos finos, materia orgánica y patógenos, a un efluente con apariencia clara, más adecuado para etapas posteriores de tratamiento o descarga controlada (Dollah et al., 2020). Estudios previos señalan que la reducción drástica de turbidez mejora la eficiencia de la desinfección, disminuye el consumo de desinfectantes y reduce la formación de subproductos riesgosos (Hernández et al., 2016; Ricardo et al., 2026). En el contexto del Dren 4000, estas condiciones óptimas aportan parámetros concretos de dosis y mezcla que sirven como base para proponer sistemas de tratamiento en escala piloto o modular, alineados con los requerimientos del D.S. 004-2017 MINAM.

Desde el punto de vista teórico, el efecto de la velocidad de agitación coincide con los planteamientos sobre la cinética de floculación. A 20 rpm se observa una remoción alta pero con turbideces medias de 5,33 NTU, mientras que a 40 rpm la media baja a 3,60 NTU, lo que indica una mayor frecuencia de colisiones y formación de flóculos más densos y sedimentables. Este resultado concuerda con lo señalado por Barros et al. (2022) y Dollah et al. (2020), quienes destacan la necesidad de ajustar el gradiente de velocidad para maximizar colisiones sin romper flóculos. La combinación de alta dosis (30 mg/L) con agitación más intensa durante la etapa lenta genera un mecanismo de barrido eficaz, coherente con las condiciones de alta turbidez inicial del Dren 4000.

La investigación también presenta limitaciones que es importante reconocer. El diseño factorial considera solo un conjunto de niveles de dosis (10, 20 y 30 mg/L) y dos

velocidades de agitación (20 y 40 rpm), sin explorar gradientes intermedios o superiores que quizá ajusten aún más la eficiencia o reduzcan el consumo de coagulante. El estudio mantiene constantes otros factores relevantes como el pH de trabajo, el tiempo de mezcla rápida, el tiempo de mezcla lenta y el tiempo de sedimentación, lo que impide analizar interacciones más amplias entre variables que la literatura identifica como influyentes en la coagulación con FeCl_3 (Cerón P., 2016; Hadadi et al., 2022). Además, las pruebas se realizan sobre una muestra compuesta con turbidez promedio de 225 NTU, sin evaluar la respuesta del sistema ante variaciones temporales en la calidad del agua del dren (Duncan et al., 2026). Tampoco se incluye un análisis de generación de lodos ni una estimación de costos de operación, aspectos claves para el escalamiento a nivel piloto o real. A pesar de estas limitaciones, el modelo estadístico presenta alta capacidad explicativa y entrega información sólida para definir condiciones óptimas de dosis y velocidad para la remoción de turbidez en las aguas del Dren 4000.

Con respecto al objetivo específico 3; la Tabla 16 muestra que, luego de la coagulación con cloruro férrico, las aguas del Dren 4000 presentan turbidez de un dígito, conductividades entre 136 y 310 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y valores de pH entre 6,5 y 6,8. Todos los tratamientos se ubican dentro de los rangos de pH 6,5 a 8,5 y conductividad hasta 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ establecidos por el D.S. 004-2017 MINAM para la categoría 3, subcategorías D1 riego de vegetales y D2 bebida de animales. La condición óptima, con 30 mg/L y 40 rpm, alcanza la menor turbidez residual, 0,8 NTU, junto con la conductividad más baja, 136 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y pH 6,5, lo que configura un efluente claramente compatible con el uso agrícola y pecuario previsto para la categoría 3.

La autenticidad de estos resultados se sostiene en la coherencia interna del experimento. Las mediciones de turbidez, pH y conductividad después del tratamiento se realizan con el mismo multiparámetro y turbidímetro calibrados empleados en la caracterización inicial, siguiendo las normas SMEWW indicadas en la metodología. Se trabaja con el diseño factorial 3×2 ya validado en el análisis del objetivo 3.2, se repiten los tratamientos y se registran datos con baja dispersión (Eddy, 2020). Esta continuidad metodológica reduce sesgos entre etapas, refuerza la trazabilidad de los valores consignados en la Tabla 16 y respalda la comparación directa con los Estándares de Calidad Ambiental vigentes.

Al contrastar estos hallazgos con otros estudios, se observa una tendencia similar. Mamani Chipana reporta que el ajuste de pH mediante neutralización en efluentes ácidos de mina permite alinear parámetros como pH y metales con los ECA para agua categoría 3, aunque con alta demanda de alcalinizante. En el presente trabajo, la coagulación con FeCl_3 mantiene el pH dentro del rango 6,5 a 6,8 sin requerir corrección adicional, lo que representa una ventaja operativa. Otros autores que trabajan con FeCl_3 en ríos o efluentes industriales destacan también el cumplimiento de rangos normativos de pH y conductividad tras la remoción de turbidez y sólidos, lo que sitúa el desempeño del tratamiento aplicado al Dren 4000 en la misma línea de eficiencia que experiencias reportadas en la literatura nacional e internacional (Guillen-Rivas et al., 2021; Hadadi et al., 2022).

La significación de estos resultados es directa para la gestión ambiental del Dren 4000. El paso desde una turbidez inicial de 225 NTU a valores cercanos a 1 NTU, junto con conductividades que descienden hasta 136 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indica que el mejor tratamiento transforma un agua fuertemente cargada de sólidos en un efluente apto para riego de

vegetales y bebida de animales según la categoría 3. Esto reduce el riesgo de colmatación de suelos y sistemas de riego, mejora la apariencia del agua y favorece condiciones más seguras para la producción agropecuaria en el entorno del dren. A nivel normativo, el hecho de que los parámetros medidos se ubiquen dentro de los ECA otorga evidencia concreta para sustentar propuestas de intervención que articulen tratamiento previo y cumplimiento gradual de la regulación ambiental (Hernández et al., 2016).

A la vez, la comparación con los ECA permite identificar vacíos. La categoría 3 considera otros parámetros clave como sólidos suspendidos totales, metales, nutrientes y coliformes, que no se analizan en la Tabla 16. La evaluación se centra en pH, conductividad y turbidez, y esta última ni siquiera cuenta con un límite numérico en la norma para D1 y D2. Esto implica que el cumplimiento observado es parcial y se circunscribe a los parámetros medidos. Desde la perspectiva de salud pública y de ecosistemas, la baja turbidez favorece la remoción de patógenos y microcontaminantes asociados a partículas, pero no garantiza, por sí misma, el cumplimiento integral de las exigencias sanitarias y ambientales de la categoría 3 (Sánchez & Vega, 2025; Velasquez et al., 2024).

Por ello, se reconocen limitaciones importantes. El análisis normativo se apoya en una única campaña de muestreo y en ensayos de laboratorio en condiciones controladas, sin considerar variaciones estacionales de la calidad del agua ni fluctuaciones de caudal en el dren. No se incluyen parámetros microbiológicos ni metales que la literatura identifica como relevantes en el Dren 4000 y en su desembocadura marina. Tampoco se estima la carga contaminante remanente ni se evalúan escenarios de funcionamiento continuo del sistema de coagulación. Aun con estas restricciones, la Tabla 16 demuestra que el tratamiento óptimo con 30 mg/L de FeCl_3 y 40 rpm genera un efluente que cumple

los rangos de pH y conductividad de la categoría 3 y que presenta una turbidez residual baja, lo que constituye un paso consistente hacia la adecuación de las descargas del dren a la normativa ambiental peruana.

Conclusiones

Del objetivo general, los resultados de las Tablas 8 a 16 permiten concluir que la coagulación con cloruro férrico reduce de forma significativa la turbidez de las aguas del Dren 4000 en la provincia de Chiclayo, distrito de Santa Rosa. A partir de una turbidez inicial promedio de 225 NTU, todas las combinaciones de dosis y velocidad logran porcentajes de remoción entre 95,96 y 99,69 %, con turbideces finales de un dígito y, en la condición óptima, cercanas a 0,7–0,8 NTU.

Del objetivo específico 1, las aguas del Dren 4000 en la provincia de Chiclayo, distrito de Santa Rosa, presentan una turbidez promedio de 225 ± 35 NTU, pH de $6,8 \pm 0,8$ y conductividad de $4\ 800 \pm 700$ $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que caracteriza un efluente con alta carga de sólidos en suspensión y fuerte mineralización, coherente con la mezcla de descargas domésticas, industriales y escorrentía agrícola descrita para este cuerpo de agua. Estos resultados cumplen el objetivo específico 3.1, confirman la presencia de un nivel elevado de contaminación fisicoquímica y muestran condiciones de pH compatibles con procesos de coagulación con cloruro férrico, por lo que respaldan la necesidad de aplicar y optimizar tratamientos de remoción de turbidez antes de la descarga al ecosistema marino costero de Santa Rosa.

Del objetivo específico 2 se concluye que la combinación de 30 mg/L de cloruro férrico y 40 rpm de agitación lenta constituye la condición óptima de coagulación para la remoción de turbidez en las aguas del Dren 4000, ya que reduce la turbidez inicial de 225

NTU a valores cercanos a 0,7 NTU, con porcentajes de remoción en torno a 99,6 %, dentro de un modelo factorial con R cuadrado de 99,88 % y errores residuales bajos. Esta condición resume el efecto conjunto de una dosis suficiente de FeCl_3 y una floculación intensa, genera flóculos bien sedimentables y proporciona una base técnica y estadística firme para el diseño de sistemas de tratamiento orientados a la clarificación del dren y a la protección del ecosistema marino costero de Santa Rosa.

Del objetivo específico 3 se concluye que el mejor tratamiento de coagulación con cloruro férrico, correspondiente a 30 mg/L de FeCl_3 y 40 rpm de agitación lenta, produce un efluente con turbidez de 0,8 NTU, pH 6,5 y conductividad de 136 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores que se ubican dentro de los rangos exigidos por los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3, subcategorías D1 riego de vegetales y D2 bebida de animales del D.S. 004-2017 MINAM.

REFERENCIAS

- Abdel-Basser, L. T., Mohamed, E. A., Omran, K. A., Ismail, M. M., & Mohamed, F. M. (2024). Switching of iron coagulants from steel residue for wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment*, 319. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100473>
- Acosta Rodríguez, A. V., Príncipe Campos, Y. A., Saldaña Alva, S. E., & Zurita Ocaña, A. P. (2018). Efecto del tiempo de agitación y dosis entre coagulantes de exoesqueleto de camarón y chatarra de hierro en la remoción de turbiedad del Río Santa. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34972>
- Alan Neill, D., & Cortez Suárez, L. (2018). *Procesos y fundamentos de la investigación científica*. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/server/api/core/bitstreams/da40f672-f31c-4fa7-84d0-fb8f4b7cefb2/content>
- Al-Anzi, B. S., Naik, M., & Ahmad, M. (2022). The Imperative Need of Metal Salt for the Treatment of Industrial Wastewater via the Synergic Coagulation-Flocculation Method. *Polymers*, 14(9), 1651. <https://doi.org/10.3390/polym14091651>
- Alshahri, A. H., Obaid, M., Dehwah, A. H. A., Missimer, T. M., Ali, M., & Ghaffour, N. (2023). Combination of advanced coagulation Fe(VI) and UF membrane to effectively remove organic compounds and mitigate biofouling during harmful algal blooms. *Desalination*, 565. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116882>

Ameh, P. O., Ameh, J., Mahmoud, A. B., Shuaib, A. R., Oyibo, A. A., Olusola, F. S., Imeh, I. B., Thankgod, E. H., Lilian, A. D., & Nehemiah, B. (2025). Treatment of Contaminated Water Collected from River Getsi Using Enhanced Natural Coagulant Prepared from *Chrysophyllum Albidium* Seeds. *Advances in Environmental and Engineering Research*, 6(3).
<https://doi.org/10.21926/aeer.2503026>

ANA. (2016). *PROTOCOLO NACIONAL PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES*.
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales>

Analy Chávez Zamora, D., Diaz-Ruiz, J., & Oblitas-Cruz, J. (2025). Evaluation of Electrocoagulation for the Removal of Heavy Metals in Acid Mine Drainage (AMD): A Sustainable Alternative. *Proc. LACCEI int. multi-conf. eng. educ. technol.*, 2025. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1046>

Arias-Odón, F. (2006). *El Proyecto de la Investigación: Introducción a la Metodología Científica*.

Barros, A., Vecino, X., Reig, M., & Cortina, J. L. (2022). Coagulation and Flocculation Optimization Process Applied to the Sidestream of an Urban Wastewater Treatment Plant. *Water (Switzerland)*, 14(24).
<https://doi.org/10.3390/w14244024>

California State Water Resources Control Board. (2025). *Surface Water Ambient Monitoring Program (SWAMP)*.

https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/

Caso Rupay, G. F., & Laureano Estrella, L. L. (2018). “*La goma de tara como agente floculante en la optimización del proceso de remoción de arsénico con FeCl₃ presente en agua de Mina*”. <https://repositorio.unac.edu.pe/item/da553b89-4a25-4fbf-a5ff-5fe4ecbd15f9>

Castillo, C. C. del, Orozco, S. O., & García, M. G. (2014). *Metodología de la Investigación*. Grupo Editorial Patria.

Castillo Silva, L. L., & Lizana Peña, A. E. (2024). Comparación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas del dren 4000 tratadas con tres coagulantes naturales para uso agrícola. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/164707>

Cerón P., V. (2016, diciembre 16). *Estudio para la determinación y dosificación óptima de coagulantes en el proceso de clarificación de aguas crudas en la potabilización de aguas de la empresa EMPOOBANDO E.S.P.* [Monografía]. Universidad de Nariño. <https://sired.udenar.edu.co/3769/>

Choque-Quispe, D., Herbas-De la Cruz, R. K., Ligarda-Samanez, C. A., Solano-Reynoso, A. M., Buleje-Campos, D., Choque-Quispe, Y., Muñoz-Saenz, J. C., Pumacayo-Sanchez, Z. O., Sumarriva-Bustinza, L. A., & Silvera Ticona, N. A. (2024). Caffeine, surfactants and organic matter in a high Andean River: Chumbao River case, Apurimac, Peru. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100548>

Concytec. (2020). *Guía práctica para la formulación y ejecución de proyectos de*

investigación y *desarrollo.*

<https://www.gob.pe/institucion/concytec/noticias/312718-concytec-publica-la-guia-practica-para-la-formulacion-y-ejecucion-de-proyectos-de-investigacion-y-desarrollo>

Díaz de Rada Igúzquiza, V. (2002). *Tipos de encuestas y diseños de investigación.*

Universidad Pública de Navarra = Nafarroako Unibertsitate Publikoa.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=89007>

Dollah, Z., Sahat, N. A., Hamzah, N., Musir, A. A., & Ramli, R. (2020). Citrus

aurantiifolia and citrus microcarpa fruit peels waste as eco-friendly natural coagulants. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 476(1).

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/476/1/012089>

Duncan, C., Ibraheem, M., Tam, A., Egotak, C., Maniyogina, K., Klengenber, F., &

Gora, S. (2026). Identifying drinking water safety hazards throughout an Arctic community's water supply system. *Water Research*, 288.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.124689>

Eddy, M. &. (2020). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización.*

McGraw-Hill Interamericana.

Estrada, C. C. P., Alcántar, M. del R. C., Sánchez, R. R., & Torres, C. I. (2023). *Enfoques*

innovadores en el proceso de enseñanza-aprendizaje en las universidades hispanohablantes. ESIC.

Guadalupe, G. D., & Concepción, G. D. (2020). *Metodología de la investigación.* Grupo

Editorial Patria.

- Guillen-Rivas, J. R., Jaramillo-Cedeño, A. R., & Córdova-Mosquera, R. A. (2021). Estudio de los procesos de remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas: Una revisión. *Polo del Conocimiento*, 6(9), 1384-1407. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i9.3118>
- Hadadi, A., Imessaoudene, A., Bollinger, J.-C., Assadi, A. A., Amrane, A., & Mouni, L. (2022). Comparison of Four Plant-Based Bio-Coagulants Performances against Alum and Ferric Chloride in the Turbidity Improvement of Bentonite Synthetic Water. *Water*, 14(20), 3324. <https://doi.org/10.3390/w14203324>
- HANNA. (2025). *Importancia de la medida de Turbidez en inundaciones y lluvias torrenciales*. https://www.hannainst.es/blog/139/importancia-de-la-medida-de-turbidez-en-inund?utm_source=chatgpt.com
- Heinemann, K. (2007). *INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EMPÍRICA EN LAS CIENCIAS DEL DEPORTE*. Editorial Paidotribo.
- Hernández, J. E., Lameda-Cuicas, E., Pire-Sierra, M. G., Molina-Quintero, L., & Pire-Sierra, M. C. (2016). Evaluación de un postratamiento fisicoquímico para la remoción de turbidez de efluentes de una tenería. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 2(7), 50-65.
- Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C. F., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición). McGraw-Hill Education.
- INEGI. (2011). *Diseño de la muestra en proyectos de encuesta*. INEGI.
- Leite, L. de S., Hoffmann, M. T., & Daniel, L. A. (2019). Coagulation and dissolved air

flotation as a harvesting method for microalgae cultivated in wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100947>

Lozada Bances, L. A. (2020). Fitodepuración de aguas residuales del Dren 4000 utilizando variedades de plantas acuáticas como Eichhornia Crassipes Y Typha Latifolia, Santa Rosa. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/50684>

M. Gomaa, T., A. Saad, M., S. Montaser, A., & G. Mohamed, G. (2024). Reduction of organic matter and disinfection by products formation at surface water treatment plants in Egypt. *Water Science*, 38(1), 533-547. <https://doi.org/10.1080/23570008.2024.2406582>

Mamani Chipana, W. (2019). Caracterización y tratamiento de efluentes de aguas ácidas en la mina La Rinconada—Puno. *Universidad Nacional del Altiplano*. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/11993>

Márquez, E. Y. C., Mitma, P. M. M., Lavado-Meza, C., de la Cruz-Cerrón, L., Suazo, N. A., & Suazo, J. M. A. (2025). Evaluation of the physical-chemical parameters of the Viñas River in Peru. *Journal of Ecological Engineering*, 26(3), 213-221. <https://doi.org/10.12911/22998993/199696>

Medina, M., Rojas, R., Bustamente, W., & Loaiza, R. (2023). *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú.

Mejía, M. de los Á. M., & Sanchezllanes, N. N. (2018). *Metodología de la investigación*. Grupo Editorial Éxodo.

Merabti, L., Benhabiles, O., Tigrine, Z., Mellal, M., Chekir, N., Mahidine, S., Tassalit, D., Bentchikou, M., Douadi, A., Jammeli, L., Khouni, I., & Lebouachera, S. E. I. (2025). Hybrid Coagulation–Membrane Filtration Techniques for Sustainable Soap Wastewater Treatment. *Water (Switzerland)*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/w17101411>

MINAM. (2017). *Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM*. https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3671-004-2017-minam?utm_source=chatgpt.com

Moussouni, A., Zeghmar, A., Benchaiba, L., Maaliou, A., Spalevic, V., Jaufer, L., Ksibi, M., Helfer, F., & Kader, S. (2026). Ensemble learning-driven optimization of coagulant dosing for drinking water treatment plants using a scalable framework for smart and sustainable process control. *Environmental Research*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.123229>

Neama, M.-A. A. M., Elbarki, W. A., Fayed, M., & Aly, S. (2024). Upgrading the eastern wastewater treatment plant effluent quality in Egypt for reuse by means of in-line coagulation followed by ultrafiltration. *Water Practice and Technology*, 19(12), 4754-4772. <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.285>

Odiaga Melgar, G. M., & Tesen Nuñez, S. E. del R. (2025). *Determinación de la dosis óptima del coagulante natural de (Opuntia ficus-indica) y su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales*. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/15174>

Pacheco, L. K. N., & Carranza, C. F. C. (2018). Impacto del Dren 4000 al Ecosistema

Marino de la Caleta Santa Rosa, Lambayeque y Alternativas de Recuperación. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 21(41), 45-52. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v21i41.14992>

Pereyra, L. E. (2020). *Metodología de la investigación*. Klik.

Pérez Rodas, C. A., & Vallejos Rojas, C. O. (2022). *Evaluación de agua de dren con presencia de macrófitas acuáticas como alternativa para tratamiento de aguas residuales*, Lambayeque. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/12504>

Purisaca Enriquez, J. F. (2020). *Concentración y tiempo de remoción de la cáscara del plátano y de la pepa de uva en el tratamiento de agua del dren 4000, Lambayeque*. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8620>

Ramírez Flores, K. D. P. (2017). “Dosis De Coagulante Natural *Caesalpinia Spinosa* Para Mejorar La Calidad De Las Aguas Residuales En El Dren 4000”. *Universidad César Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/33240>

Ricardo, G., Abdul Wahab, M. A., Arias, E., Bastin, L., Brunner, C., Luter, H. M., Nitschke, M., Salmon, M., & Negri, A. (2026). Unravelling the influence of light on inshore coral and sponge recruits and their substrate communities. *Marine Pollution Bulletin*, 222. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118672>

Ruiz Ocaña, F. A., & Bravo Torres, Y. E. (2024). *Análisis comparativo de la aplicación de las metodologías VIZIR y PCI en la evaluación superficial del pavimento de la Av. Carlos Fermín Fitzcarrald de la Urb. Diego Ferré, en el distrito de Chiclayo, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque*.

<http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/13405>

Saavedra Flores, R. Y., & Tejada Reyes, C. E. (2023). *Efecto del tiempo de residencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas en un UASB cilindrico.*

<http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11262>

Sakhi, D., Elmchaouri, A., Rakhila, Y., Abouri, M., Souabi, S., Hamdani, M., & Jada, A.

(2020). Optimization of the treatment of a real textile wastewater by coagulation–flocculation processes using central composite design. *Desalination and Water Treatment, 196*, 33-40. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25929>

Salazar Ordinola, F. S. (2024). *Sistema computacional para evaluación del impacto ambiental en obras hidráulicas de conducción.*

<http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/12805>

Sánchez, A., & Vega, M. (2025). ANTHROPIC SYSTEM AND WATER QUALITY IN A HIGH ANDEAN BASIN IN PERU. *Proc. LACCEI int. multi-conf. eng. educ. technol., 2025.*

<https://doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1718>

Singh, M. V., Kumar, A., Bhatt, N., Ren, J., Hou, H., Wang, Z., Xu, B. B., Guo, Z., &

Colorado, H. A. (2024). Impact of Contaminated Water on Plants and Animals: Utilizing Natural and Chemical Coagulants for Treating Contaminated Water. *ES Energy and Environment, 23.* <https://doi.org/10.30919/esee1032>

Solano Carrion, A. L. (2019). Comparación de la eficiencia de Pistia stratiotes y Azolla filiculoides para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000. *Repositorio Institucional - UCV.*

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35251>

Soto Corra, S. L. (2025). *Evaluación de la capacidad de depuración de la macrófita*

acuática (Lemna minor) para el tratamiento de aguas residuales del dren Santa Sofía, Distrito Cayaltí – 2024.

<http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/14726>

Velasquez, J. A., Valdivia, V. C., Caldas, N. B., & Chirinos, M. M. (2024). Economic valuation related to public health due to the contamination of particulate matter less than 10 microns in Arequipa, Peru. *Proc. LACCEI int. multi-conf. eng. educ. technol.* Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.1976>

Yanza-López, J., Rivera-Hernández, R., Gómez-Torres, L., & Zafra-Mejía, C. (2019). Evaluación de FeCl₃ y PAC para la potabilización de agua con alto contenido de color y baja turbiedad. *TecnoLógicas*, 22(45), 9-21. <https://doi.org/10.22430/22565337.1085>

Zúñiga, P. I. V., Cedeño, R. J. C., & Palacios, I. A. M. (2023). Metodología de la investigación científica: Guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723-9762. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658

ANEXOS

ANEXO N° 1. Matriz de operacionalización.

Variable	Dimensión	Indicador	Definición operacional	Unidad / escala	Técnicas e instrumentos
Coagulación con cloruro férrico (VI)	Dosis de coagulante	Volumen de solución de FeCl ₃ 500 mg/L por litro de muestra	Volumen de solución de FeCl ₃ agregado a cada litro de agua del Dren 4000	mL/L, cuantitativa continua, escala de razón	Prueba de jarras, hojas de cálculo, software estadístico
	Velocidad de agitación	Velocidad de agitación lenta en el equipo de jarras	Regulación de la velocidad de agitación durante la etapa de floculación	rpm, cuantitativa discreta, escala de razón	Prueba de jarras, equipo de jarras con control de rpm
	Tiempos de mezcla	Tiempo de mezcla rápida y tiempo de mezcla lenta	Minutos programados para la mezcla rápida y la mezcla lenta en cada tratamiento	min, cuantitativa continua, escala de razón	Prueba de jarras, cronómetro
	Tiempo de sedimentación	Tiempo de reposo previo al muestreo	Minutos de sedimentación antes de tomar la muestra para lectura de turbidez	min, cuantitativa continua, escala de razón	Prueba de jarras, cronómetro
	pH de trabajo	pH del agua durante el tratamiento	pH ajustado y medido en cada ensayo de coagulación	unidades de pH, cuantitativa continua, escala de intervalo	Monitoreo en laboratorio, multiparámetro pH

Remoción de turbidez (VD)	Turbidez inicial	Turbidez del agua antes del tratamiento	Lectura de NTU previa a la adición de $FeCl_3$	NTU, cuantitativa continua, escala de razón	Análisis de laboratorio, turbidímetro
	Turbidez final	Turbidez del agua después del tratamiento	Lectura de NTU luego de la mezcla y el tiempo de sedimentación	NTU, cuantitativa continua, escala de razón	Análisis de laboratorio, turbidímetro, prueba de jarras
	Porcentaje de remoción	Porcentaje de remoción de turbidez	Cálculo con la fórmula $\%R = (Ci - Cf) / Ci \times 100$	%, cuantitativa continua, escala de razón	Hojas de cálculo, software estadístico (ANOVA, Tukey)
	Cumplimiento de ECA	Condición de cumplimiento frente al valor del ECA	Comparación entre la turbidez final y el valor límite de turbidez del ECA aplicable	NTU y categoría cumple / no cumple	Hojas de cálculo, cuadro de ECA D.S. 004-2017-MINAM
Caracterización fisicoquímica (VIv)	pH del agua cruda	Valor de pH del Dren 4000 sin tratamiento	Medición de pH en campo y laboratorio	unidades de pH, cuantitativa continua, escala de intervalo	Multiparámetro pH, ficha de campo
	Conductividad eléctrica	Conductividad eléctrica del agua cruda	Lectura directa de conductividad del Dren 4000	$\mu S/cm$ o mS/cm , cuantitativa continua, escala de razón	Multiparámetro de conductividad, ficha de campo

Remoción de la turbidez mediante coagulación con cloruro férrico en las aguas del dren 4000, distrito de Santa Rosa, Chiclayo, 2025

	Sólidos disueltos totales	Concentración de sólidos disueltos totales	Lectura de TDS según el método aplicado	mg/L, cuantitativa continua, escala de razón	Multiparámetro o equipo específico de TDS, formatos de registro
	Turbidez inicial global	Turbidez promedio del Dren 4000	Promedio de las lecturas de NTU de las muestras de caracterización	NTU, cuantitativa continua, escala de razón	Turbidímetro, análisis estadístico descriptivo, hojas de cálculo

ANEXO N° 2. Matriz de Consistencia.

Nivel	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Diseño, técnicas e instrumentos
General	¿En qué medida la coagulación con cloruro férrico remueve la turbidez de las aguas del Dren 4000, Chiclayo, distrito de Santa Rosa, 2025?	Evaluar el porcentaje de remoción de turbidez mediante coagulación con cloruro férrico en las aguas del Dren 4000, Chiclayo, distrito de Santa Rosa, 2025.	La coagulación con cloruro férrico reduce de forma significativa la turbidez de las aguas del Dren 4000 en 2025.	VI: coagulación con cloruro férrico. VD: remoción de turbidez. VIv: caracterización fisicoquímica del agua del Dren 4000.	Enfoque cuantitativo, estudio aplicativo, diseño experimental factorial 3×2, corte transversal. Técnicas: prueba de jarras, análisis de laboratorio, análisis estadístico (ANOVA). Instrumentos: multiparámetro, turbidímetro, equipo de jarras, balanza, cronómetro, hojas de cálculo, software estadístico.
Específico 1	¿Cuáles son las características fisicoquímicas de las aguas del Dren 4000 en Chiclayo, distrito de Santa Rosa, 2025?	Caracterizar fisicoquímicamente las aguas del Dren 4000 en Chiclayo, distrito de Santa Rosa, 2025.	Las aguas del Dren 4000 presentan turbidez, sólidos y conductividad superiores a valores de referencia para cuerpos de agua costeros.	VIv: caracterización fisicoquímica con dimensiones pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y turbidez inicial.	Diseño descriptivo, corte transversal. Técnicas: monitoreo de campo, análisis físico químico de laboratorio. Instrumentos: ficha de puntos de muestreo, multiparámetro, turbidímetro, formatos de registro.

Específico 2	¿Cuáles son las condiciones óptimas de coagulación con cloruro férrico para la remoción de turbidez en las aguas del Dren 4000?	Determinar las condiciones óptimas de coagulación con cloruro férrico para la remoción de turbidez en las aguas del Dren 4000.	Una combinación adecuada de dosis de cloruro férrico, pH, tiempos de mezcla y sedimentación genera el mayor porcentaje de remoción de turbidez.	VI: dosis de FeCl ₃ , velocidad de agitación, tiempos de mezcla rápida y lenta, tiempo de sedimentación, pH de trabajo. VD: turbidez inicial, turbidez final, porcentaje de remoción.	Diseño experimental factorial 3×2 con réplicas. Técnicas: prueba de jarras, análisis estadístico inferencial (ANOVA, prueba de Tukey). Instrumentos: equipo de jarras, turbidímetro, multiparámetro, balanza analítica, cronómetro, hojas de cálculo, software estadístico.
Específico 3	¿En qué medida el mejor tratamiento de coagulación con cloruro férrico permite que la turbidez del Dren 4000 cumpla con los Estándares de Calidad Ambiental para agua aplicables?	Comparar los resultados del mejor tratamiento de coagulación con cloruro férrico con los Estándares de Calidad Ambiental para agua aplicables al Dren 4000.	El mejor tratamiento de coagulación con cloruro férrico deja la turbidez del Dren 4000 dentro de los límites del ECA para la categoría de uso del cuerpo receptor costero.	VD: turbidez final y porcentaje de remoción del tratamiento óptimo. Variable de referencia: valor límite de turbidez de los ECA D.S. 004-2017-MINAM para la categoría de uso asignada.	Diseño comparativo. Técnicas: análisis de resultados respecto a la normativa, elaboración de tablas y gráficos. Instrumentos: hojas de cálculo, cuadro de ECA vigente, documentos normativos del MINAM.