



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Escuela de Posgrado

**Evaluación del proceso de Coagulación-Floculación en los efluentes de
una planta de conservas de pescado**

Tesis

Para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales

Autor

Ronald Fernando Rodríguez Espinoza

Asesor:

Dr. Ronald Luis Ramos Pacheco

Huacho – Perú

2023

Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Lopez Sanchez Jose Fernando. "Demografia y productividad de los modulos de thalassia testudinum banks ex koenig, en dos localidades de la costa oriental de la peninsula de yucatan", TESIUNAM, 2012 Publicación	1%
5	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	sistema.atenaeditora.com.br Fuente de Internet	<1%
7	C. O. García-Sifuentes, R. Pacheco-Aguilar, S. Valdez-Hurtado, E. Márquez-Rios, M. E. Lugo-Sánchez, J. M. Ezquerro-Brauer. "Impacto del	<1%

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-
FLOCULACIÓN EN LOS EFLUENTES DE UNA PLANTA DE
CONSERVAS DE PESCADO**

RONALD FERNANDO RODRIGUEZ ESPINOZA

TESIS DE DOCTORADO

ASESOR: Dr. Ronald Luis Ramos Pacheco

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES
HUACHO**

2023

DEDICATORIA

A mi esposa Ayde, por confiar en mi capacidad, brindarme su apoyo y ser partícipe de mis logros; y por sobre todo, estar a mi lado en los momentos cuando más la necesitaba.

Por tantos años de estar juntos muchas gracias.

A mis hijas Claudia y Yamila, por enseñarme la felicidad de ser un padre y darme la motivación que necesito para salir adelante.

A mis padres Ángel y Yolanda por inducirme en los buenos valores y en el amor a los estudios. Estaré siempre agradecido.

A mis hermanos Peggy y Eder, por estar siempre pendientes de mí, por su apoyo incondicional, por celebrar mis logros como propios y por su amor hacia mis hijas.

Ronald Fernando Rodríguez Espinoza

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su omnipresencia en todos los momentos de mi vida.

Al Mg. Jorge Luis Mendoza Bobadilla, por su amistad a través de los años y por su apoyo académico en el desarrollo de esta tesis.

A los doctores: Dr. Alberto Sánchez Guzmán y Dr. José Nunja García por brindarme su amistad y sobre todo por motivarme en la prosecución de este segundo doctorado.

Además de sus sugerencias oportunas para la mejora de la presente tesis.

Al Dr. Ronald Luis Ramos Pacheco, por brindarme su amistad y por su asesoría en la elaboración de esta tesis

A los colegas: Dr. Berardo Ruiz Sánchez, Dr. Edwin Gálvez Torres y Mg. Juan Ipanaqué Roña, por brindarme su amistad y sus acertados consejos en el desarrollo de la tesis.

A los colegas de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, por su amistad en tantos años de conocernos.

Ronald Fernando Rodríguez Espinoza

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE.....	v
INDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	3
1.2. Formulación del problema.....	5
1.2.1. Problema general.....	5
1.2.2. Problemas específicos.....	5
1.3. Objetivos de la investigación.....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4. Justificación de la investigación.....	7
1.5. Delimitaciones del estudio.....	7
1.6. Viabilidad del estudio.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9

2.1.	Antecedentes de la investigación	9
2.1.1.	Investigaciones internacionales	9
2.1.2.	Investigaciones nacionales	10
2.2.	Bases teóricas.....	13
2.3.	Bases filosóficas	15
2.4.	Definición de términos básicos	16
2.5.	Hipótesis de investigación	20
2.5.1.	Hipótesis general	20
2.5.2.	Hipótesis específicas.....	20
2.6.	Operacionalización de variables	21
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		22
3.1.	Diseño metodológico	22
3.2.	Población y muestra.....	22
3.2.1.	Población	22
3.2.2.	Muestra	22
3.3.	Técnicas de recolección de datos	22
3.4.	Técnicas para el procedimiento de la información	24
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		26
4.1.	Análisis de resultados	26
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN		70
5.1.	Discusión de resultados	70

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
6.1. Conclusiones.....	76
6.2. Recomendaciones	78
REFERENCIAS	79
ANEXOS	86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	21
Tabla 2. Medición de la Turbidez para diversas concentraciones del coagulante FeCl_3	27
Tabla 3. Porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones del coagulante FeCl_3	29
Tabla 4. Estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de Turbidez para los tratamientos con el coagulante FeCl_3	31
Tabla 5. Test de Duncan del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones del coagulante FeCl_3	33
Tabla 6. Resultados estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de Turbidez para cada uno de los tratamientos con el coagulante FeCl_3	34
Tabla 7. Medición de la Turbidez para diversas concentraciones del coagulante PAC.	36
Tabla 8. Porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones del coagulante PAC	38
Tabla 9. Resultados estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de Turbidez para los tratamientos con PAC	40
Tabla 10. Test de Duncan del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de PAC.....	42
Tabla 11. Resultados estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de Turbidez para cada uno de los tratamientos con PAC	43
Tabla 12. Medición de la Turbidez para diversos porcentajes de mezcla entre los coagulantes FeCl_3 - PAC	45

Tabla 13. Porcentaje de disminución de Turbidez para diversos porcentajes de mezcla de los coagulantes FeCl ₃ - PAC	47
Tabla 14. Resultados estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de la Turbidez para diversos porcentajes de mezcla FeCl ₃ - PAC	49
Tabla 15. Test de Duncan del porcentaje de disminución de Turbidez para diversos porcentajes de mezcla FeCl ₃ - PAC.....	51
Tabla 16. Resultados estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de la turbiedad para cada uno de los tratamientos con diversos porcentajes de mezcla FeCl ₃ - PAC	52
Tabla 17. Medición de la Turbidez para diversas concentraciones de Flocculante Aniónico	54
Tabla 18. Porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de Flocculante aniónico	56
Tabla 19. Resultados estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de Flocculante aniónico	58
Tabla 20. Test de Duncan del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de Flocculante aniónico	59
Tabla 21. Resultados estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de Flocculante aniónico	60
Tabla 22. Test de normalidad de Shapiro - Wilk del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de FeCl ₃	62
Tabla 23. Prueba estadística no paramétrica de Kruskal - Wallis del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de FeCl ₃	63

Tabla 24. Test de normalidad de Shapiro - Wilk del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de PAC.	64
Tabla 25. Prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de PAC	65
Tabla 26. Test de normalidad de Shapiro - Wilk del porcentaje de disminución de la Turbidez para diversos porcentajes de mezcla FeCl_3 - PAC	66
Tabla 27. Prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis del porcentaje de disminución de Turbidez para diversos porcentajes de mezcla FeCl_3 - PAC	67
Tabla 28. Test de normalidad de Shapiro - Wilk del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de Flocculante de polímero aniónico	68
Tabla 29. Prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de Flocculante de polímero aniónico	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Valores de la Turbidez para diversos tratamientos con el coagulante FeCl_3 . .	28
Figura 2. Disminución de Turbidez para diversas concentraciones del coagulante FeCl_3	30
Figura 3. Medias aritméticas de los porcentajes de reducción de la turbidez para cada una de las concentraciones de FeCl_3 empleadas.....	35
Figura 4. Valores de la Turbidez para diversos tratamientos con el coagulante PAC ...	37
Figura 5. Disminución de Turbidez para diversas concentraciones del coagulante PAC	39
Figura 6. Medias aritméticas de los porcentajes de reducción de la turbidez para cada una de las concentraciones del coagulante PAC empleadas	44
Figura 7. Valores de la Turbidez para diversos porcentajes de mezcla entre los coagulantes FeCl_3 - PAC	46
Figura 8. Disminución de Turbidez para diversos porcentajes de mezcla de los coagulantes FeCl_3 - PAC	48
Figura 9. Medias aritméticas de los porcentajes de disminución de la turbidez para cada uno de los porcentajes de mezcla de los coagulantes FeCl_3 - PAC empleados.....	53
Figura 10. Valores de la Turbidez para diversas concentraciones de Floculante Aniónico	55
Figura 11. Disminución de Turbidez para diversas concentraciones de Floculante aniónico	57
Figura 12. Medias aritméticas de los porcentajes de reducción de la turbidez para cada una de las concentraciones del Floculante aniónico empleadas	61

Figura 13. Promedio de la medición de la Turbidez en R para diferentes concentraciones del coagulante FeCl_3	86
Figura 14. Cálculo en el lenguaje R del promedio de los porcentajes de disminución de la Turbidez para diversas concentraciones del coagulante FeCl_3	87
Figura 15. Resultados estadísticos descriptivos en R del porcentaje de disminución de Turbidez para los tratamientos con el coagulante FeCl_3	88
Figura 16. Recolección de las muestras.....	89
Figura 17. Midiendo la turbidez	90
Figura 18. Test de Jarras.....	90
Figura 19. Tratamiento de las muestras.....	91
Figura 20. Muestras tratadas.....	91
Figura 21. Preparación de las soluciones de coagulantes.....	92
Figura 22. Resultados del test de Jarras.....	92

RESUMEN

La presente tesis tuvo como **Objetivo:** Determinar en qué medida influye la concentración de coagulantes cloruro férrico y policloruro de aluminio y sus combinaciones en la remoción de turbidez de los efluentes de una planta de conservas de pescado. **Metodología:** La eficiencia de la coagulación fue determinada experimentalmente usando un equipo de prueba de jarras, tratando un volumen de 2 L de agua residual a una velocidad de agitación en la coagulación de 120 r.p.m., por un tiempo de 5 min; y en la etapa de floculación se usó una velocidad de 50 r.p.m. en la agitación durante un tiempo de 5 min. **Resultados:** Cuando se evaluó la eficiencia de los coagulantes FeCl_3 y PAC de forma individual y combinada, se mantuvo constante la concentración del floculante de polímero aniónico de alto peso molecular en 60 ppm, siendo las concentraciones óptimas del FeCl_3 y del PAC de 2400 ppm y 3300 ppm respectivamente (ambas con una remoción de 99.2 %). La mezcla óptima de FeCl_3 y de PAC fue de 80 % con una remoción de 97.5%. En la evaluación de la floculación, se mantuvo constante la dosis óptima de mezcla de coagulantes, el floculante aniónico utilizado tuvo un mejor rendimiento a la concentración de 50 ppm con un porcentaje de disminución de la turbidez de 96.7 %. **Conclusión:** Se puede alcanzar un alto porcentaje de remoción de turbidez de este tipo de efluentes, utilizando los coagulantes FeCl_3 y PAC, por separado y en forma combinada, junto con el floculante de polímero aniónico, siendo el FeCl_3 más eficiente que el PAC.

Palabras clave: Coagulación, floculación, turbidez, efluente industrial.

ABSTRACT

The objective of this thesis was to determine the influence of the concentration of ferric chloride and poly aluminum chloride coagulants and their combinations on the removal of turbidity from the effluents of a fish canning plant. Methodology: The coagulation efficiency was determined experimentally using a jar test rig, treating a volume of 2 L of wastewater at an agitation speed of 120 rpm and a time of 5 min for coagulation; and at the flocculation stage, an agitation speed of 50 rpm and a time of 5 min were used for flocculation. Results: When the efficiency of the coagulants FeCl_3 and PAC were evaluated individually and in combination, the concentration of the anionic polymer flocculant was kept constant at 60 ppm, with the optimum concentrations of FeCl_3 and PAC being 2400 ppm and 3300 ppm respectively (both with 99.2 % removal). The optimum mixture of FeCl_3 and PAC was 80 % with a removal of 97.5 %. In the flocculation evaluation, the optimum coagulant mixture dosage was kept constant, the anionic flocculant used performed best at the concentration of 50 ppm with a removal rate of 96.7 %. Conclusion: A high percentage of turbidity removal from this type of effluent can be achieved using the coagulants FeCl_3 and PAC, separately and in combination, together with the anionic polymer flocculant, with FeCl_3 being more efficient than PAC.

Keywords: Coagulation, flocculation, turbidity, industrial effluent.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de los océanos debido al vertido de aguas industriales con alto contenido en materia orgánica ha venido en aumento, sumándose a esto la falta de legislación adecuada y un riguroso control del estado. Esto ha llevado a que algunas ciudades tengan sus zonas costeras contaminadas, afectando con esto a los ecosistemas marinos, pescadores artesanales, veraneantes, entre otros.

Por todo esto, es que se ha realizado la presente investigación denominada: Evaluación del proceso de Coagulación - Floculación en la remoción de la turbidez de los efluentes de una planta de conservas de pescado, mediante la cual se pretende aportar en la solución de la situación actual de la ciudad de Chimbote debida a la contaminación de las fuentes de agua debido a vertidos de tipo industrial, cuyo tratamiento antes del vertido final es nulo.

El tipo de efluente considerado en el tratamiento presenta un alto contenido de materia orgánica, turbidez y grasas, lo que dificulta su tratamiento y disposición final (Cevallos et al., 2022). Se empleó el proceso de coagulación-floculación, utilizando los coagulantes cloruro férrico (FeCl_3) y policloruro de aluminio (PAC), juntamente con el uso de un floculante aniónico de alto peso molecular.

Con la intención de obtener la mejor dosis de tratamiento para este tipo de efluentes, los coagulantes se probaron en el tratamiento en forma individual y luego combinados, manteniendo constante la concentración del floculante aniónico. El proceso de coagulación-floculación se desarrolló en un equipo de jarras, considerando los

parámetros: volumen, dosis de los coagulantes y floculantes, velocidad de agitación y tiempo de agitación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Según lo afirmado por Domínguez (2015), una de las mayores preocupaciones en el mundo actual es la degradación ambiental:

Actualmente, una de las mayores preocupaciones de la sociedad es el cuidado y protección del medio ambiente, de manera que se puedan reparar los daños causados por las actividades humanas y prevenir su agravamiento, ya que afecta directa e indirectamente la salud y el bienestar de las personas y otros organismos.

La contaminación del mar es uno de los problemas ambientales que está causando preocupación mundial, principalmente debido a que está afectando el recurso hidrobiológico y las zonas costeras de recreación. Como lo hace notar, Bustíos et al. (2013), con respecto al mar, afirma que “los principales problemas de su contaminación se derivan de las emisiones de la industria pesquera y de vertimientos de los desagües domésticos en las zonas costeras”. (p. 4)

Al respecto, Contreras (2011), sostiene:

La pesca, incluida la acuicultura, es una fuente importante de alimentos, empleo, recreación, negocios y bienestar económico para las generaciones actuales y futuras y, por lo tanto, debe gestionarse de manera responsable. (p. 307) [...]. El Perú no solo es un país minero de primer orden, sino que también tiene una actividad pesquera muy importante. Por su vasta vida marina, es uno de los principales países exportadores del mundo, sin embargo, la industria pesquera produce mucha contaminación marina en su proceso productivo. (p. 309)

Mas aún, dicho con palabras de Torres (2013):

El sector pesquero es uno de los más cuestionados en cuanto a problemas ambientales, debido a que tiene un fuerte impacto en algunos recursos hidrobiológicos de uso industrial: anchoveta, caballa, caballa y sardina, así como la contaminación de las plantas de procesamiento industrial (harina, aceite y conservas de pescado) que provoquen factores físicos, químicos y biológicos en el medio ambiente, especialmente a partir del procesamiento de plantas en lugares que resulten nocivos para la salud y la normal convivencia de la población o puedan ser nocivos para las plantas o animales del medio ambiente o impedir la normales uso de bienes inmuebles o lugares de descanso y recreación. (p. 318)

La ciudad de Chimbote es reconocida por su actividad relacionada a la pesca, es uno de los principales puertos pesqueros del mundo, principalmente aquella dedicada a la elaboración de harina y aceite de pescado y la de elaboración de conservas. Entre las principales especies extraídas están la anchoveta, el jurel, la caballa y el atún. Sus fábricas se encuentran en la zona industrial de la ciudad. En donde muchas de estas plantas pesqueras arrojan sus vertidos en la red de alcantarillado municipal sin un tratamiento previo, la cual arroja estas aguas residuales directamente al mar sin tratarlos, lo que ocasiona la contaminación de la bahía de Chimbote.

Estos vertidos no tratados ocasionan una disminución en el oxígeno que se encuentra disuelto en el cuerpo de agua receptor, además de ocasionar un incremento en la turbidez de agua (Moreno et al., 2010, p. 26).

La bahía de Chimbote, también llamada bahía El Ferrol, es una de las más contaminadas del país, es así que de acuerdo al Ministerio del Ambiente (2015), presenta alta concentración de carga contaminante, principalmente de aguas

residuales domésticas e industriales, alcanzando altos niveles de coliformes totales y termotolerantes que superan los estándares permitidos de calidad del agua costera.

En tal sentido, la presente investigación está relacionada a la disminución de la turbidez de los vertidos de una planta pesquera ubicada en la zona industrial de la ciudad de Chimbote, la cual se presenta como una opción a la disminución de la contaminación por materia orgánica suspendida presente en los vertimientos de estas plantas.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

Con base en lo anterior, se continúa presentando el problema general de investigación de la siguiente manera:

¿De qué manera se puede reducir la turbidez del agua del efluente líquido generado por una fábrica de conservas de pescado antes de ser arrojada al colector municipal?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera influye la concentración del coagulante cloruro férrico (FeCl_3) en la disminución de la turbidez de los efluentes de una fábrica de conservas de pescado?
- ¿De qué manera influye la concentración del coagulante inorgánico a base de sal polimérica de policloruro de aluminio (PAC) en la disminución de la turbidez de los efluentes de una fábrica de conservas de pescado?
- ¿Cuál es el porcentaje de combinación óptimo entre los coagulantes cloruro férrico (FeCl_3) y el coagulante inorgánico a base de sal polimérica de

policloruro de aluminio (PAC) en la disminución de la turbidez de los efluentes de una fábrica de conservas de pescado?

- ¿Cómo influye la concentración del floculante aniónico en la disminución de la turbidez de los efluentes de una fábrica de conservas de pescado?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar en qué medida influye la concentración de los coagulantes cloruro férrico y policloruro de aluminio y sus combinaciones en la disminución de turbidez de los efluentes de una planta de conservas de pescado.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la influencia del coagulante cloruro férrico en la disminución de turbidez de los efluentes de una fábrica de conservas de pescado.
- Evaluar la influencia del coagulante policloruro de aluminio en la disminución de turbidez de los efluentes de una fábrica de conservas de pescado.
- Especificar el porcentaje de combinación óptima entre los coagulantes cloruro férrico y policloruro de aluminio en la disminución de turbidez de los efluentes de una fábrica de conservas de pescado.
- Evaluar la influencia de la concentración del floculante aniónico en la disminución de turbidez de los efluentes de una fábrica de conservas de pescado.

1.4. Justificación de la investigación

La situación actual que se viene dando en la contaminación de los océanos requiere acciones que conlleven a dar solución a este problema. De entre la complejidad de acciones que el ser humano realiza y que afectan los recursos marinos, están el vertimiento de aguas residuales de origen industrial sin un tratamiento previo por medio de emisores submarinos.

En la presente tesis se evaluó el proceso de coagulación-floculación para disminuir el material coloidal suspendido en los efluentes de una industria procesadora de conservas ubicada en la zona industrial de Chimbote, lo cual va a aportar un nuevo enfoque en la metodología del proceso de floculación-coagulación que será aplicado a efluentes de estas características.

Se pretende además contribuir en la solución de un problema de índole social, ambiental y económico que viene afectando a la población, debido a la degradación ambiental que se ha venido dando durante muchos años en la bahía de El Ferrol en Chimbote.

1.5. Delimitaciones del estudio

En el presente estudio, se evaluó la disminución de la turbidez de los efluentes de una fábrica elaboradora de conservas de pescado ubicada en la zona industrial de la ciudad de Chimbote durante el periodo de producción del año 2020. Los análisis experimentales se realizaron en el Laboratorio de Investigación en Aguas de la Universidad Nacional de Trujillo.

1.6. Viabilidad del estudio

Para desarrollar la presente investigación se tiene el patrocinio de la coordinación del Laboratorio de Investigación en Aguas de la Facultad de Ingeniería Química de

la Universidad Nacional de Trujillo. Este laboratorio tiene el equipamiento necesario, así como cuenta también con los analistas capacitados para desarrollar los análisis necesarios en el estudio de la disminución de la turbidez por coagulación-floculación. Así mismo, se cuenta con el apoyo de algunas empresas que elaboran conservas de pescado para acceder a sus efluentes. Se debe mencionar también que la investigación es autofinanciada.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Investigaciones internacionales

A nivel internacional, se tiene un primer trabajo realizado en Colombia por Castrillón y De los Ángeles (2012) denominado: “Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo B en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de Villa Santana”. El cuál se realizó en la planta potabilizadora de Villa Santana donde se hicieron las pruebas con el coagulante sulfato de aluminio granular Tipo B.

El objetivo de esta investigación fue determinar las dosis óptimas requeridas para remover la turbidez y color en diferentes muestras de agua recogidas durante un periodo de tiempo adecuado. La metodología empleada fue determinar dichas dosis óptimas a través de la prueba del frasco y estas dosis fueron elegidas en base al cumplimiento del Reglamento 1575 Resolución 2115/2007. Los resultados obtenidos tras el test de latas dieron unos resultados óptimos en cuanto a la eliminación de los parámetros físico-químicos analizados y el cumplimiento de la norma. Concluyéndose además que el sulfato de aluminio granular tipo B es un precipitante eficaz para el tratamiento de agua doméstica, ya que se encontraron buenas tasas de turbidez y eliminación de color en las muestras de agua cruda analizadas.

Un segundo trabajo es el de Veliz et al. (2016), titulado: “Coagulación-floculación, filtración y ozonización de agua residual para reutilización en riego agrícola”.

El objetivo del trabajo fue la evaluación a escala de banco de los procesos de coagulación-floculación, filtración y ozonización (cada uno por separado y con la combinación de todos) en el tratamiento de agua residual municipal para su reutilización en riego agrícola. La metodología empleada fue evaluar tres coagulantes: sulfato de aluminio, sulfato férrico y policloruro de aluminio, dos gradientes de velocidad de agitación y tres valores de pH. Los resultados obtenidos mostraron que los coagulantes más eficientes fueron policloruro de aluminio y sulfato de aluminio; y se obtienen mejores resultados con el aumento de la velocidad de agitación en la mezcla rápida ($278 \text{ G}\cdot\text{S}^{-1}$) y se reducen las dosis de coagulante (50-66%). Por lo que se concluyó que la eficiencia de los coagulantes resultó ser policloruro de aluminio > sulfato de aluminio > sulfato férrico.

2.1.2. Investigaciones nacionales

Un primer trabajo relacionado al tema de investigación, es el de “Tratamiento del agua residual de un matadero: Eficiencia del proceso de coagulación – floculación”, desarrollado por Azabache (2020), cuyo objetivo consistió en evaluar los beneficios, así como la eficacia del tratamiento de coagulación y floculación en aguas residuales de los mataderos.

Se trataron muestras de 500 ml utilizando $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ al 1 % y FeCl_3 al 1 % como coagulantes, utilizando como floculante polímero catiónico al 1 % a altas velocidades (150–300 rpm) con un gradiente lento de 75 rpm. Las mediciones iniciales de los parámetros físico-químicos en las aguas residuales fueron: pH (6,98 – 6,97), turbidez (436 - 537 NTU), SST (430,6 – 228,8 ppm), oxígeno disuelto (1,17 – 2,11 ppm), nitratos (0 – 7,5 ppm).

Los mejores resultados se obtuvieron al agregar 6 ml de sulfato de aluminio; 1 ml de polímero catiónico, velocidad de agitación de 200 rpm y tiempo de sedimentación de 25 minutos redujeron la concentración de turbidez a 4.85 NTU, la concentración de oxígeno disuelto a 9,16 mg/L y STD a 333,6 ppm. De igual manera se adicionaron 2 ml de cloruro férrico (FeCl_3), 0,75 ml de un polímero catiónico, a una mezcla rápida con velocidad de 300 r.p.m. y con una sedimentación de 35 minutos, permitieron obtener como resultado 15,46 NTU, oxígeno disuelto de 9,45 ppm, sólidos totales disueltos de 224,7 ppm y con un valor para nitratos de 6 ppm.

Un segundo trabajo relacionado al tema de investigación, es el elaborado por Choque-Quispe et al. (2018), que lleva por título: “Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua” en donde se afirma que, en el proceso de potabilización del agua, la coagulación se constituye en la más importante, la cual consiste en la eliminación de los sólidos en suspensión mediante la adición de coagulantes, cuyo uso presenta inconvenientes relacionados con los elevados costes de adquisición, la gran formación de lodos y el hecho de que afectan al valor del pH del agua tratada.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad floculante de tres variedades de Cactáceas *Echinopsis pachanoi*, *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus* en el tratamiento de aguas residuales artificiales. El método consistió en agregar concentraciones del 1 %, 2 % y 3 % del coagulante de las tres variedades de Cactáceas al agua residual, mostrándose un incremento significativo ($p\text{-value} < 0.05$) para la clarificación y el porcentaje de remoción, con el aumento de concentración del coagulante. Se encontró que los mejores resultados se dieron con la cactácea de variedad San Pedro. Los parámetros

fisicoquímicos del agua tratada como el pH aumentaron ligeramente de 6.61 del agua sin tratamiento a 7.58, mientras que los parámetros dureza y alcalinidad no mostraron diferencia significativa ($p\text{-value}>0.05$); asimismo, la DBO del agua con coagulante se incrementó con el porcentaje de aplicación.

Una tercera investigación considerada es la de Rodríguez y Salvador (2016), el cual se titula: “Determinación de dosis óptima de coagulante en función de la turbidez en la unidad Multiflo durante temporada de avenidas en planta Huachipa - Sedapal”, los cuales realizaron un estudio en la planta potabilizadora Huachipa de Sedapal, que distribuye agua de alta calidad a los habitantes de Lima Norte y Callao.

Según Rodríguez y Salvador, el objetivo de este estudio fue determinar las dosis óptimas de coagulante para reducir el costo de los insumos químicos y la obtención de agua con características aceptables de turbidez, esto que asegura los tratamientos posteriores para obtener agua potable de calidad.

Para hallar metódicamente las dosis óptimas, en las pruebas en la planta de Huachipa se utilizó el equipo JAR TEST para eliminar la turbidez y el color presente en la misma. Se evaluaron los parámetros de calidad como cloro residual, turbidez, conductividad, color aparente y pH a la entrada y salida de la unidad Multiflo (donde se realizan las etapas de coagulación, floculación y decantación). El coagulante empleado para realizar los experimentos fue el sulfato de aluminio en solución al 8 % en días críticos durante la temporada de inundaciones.

Los resultados obtenidos tras las pruebas realizadas en el equipo de prueba de jarras dieron excelentes resultados en la eliminación de los parámetros físico-químicos analizados del agua decantada.

2.2. Bases teóricas

Contaminación ambiental:

Contreras (2011), define la contaminación ambiental como:

La presencia de uno o más contaminantes en el medio ambiente en cantidades superiores a los límites tolerados por los humanos, combinados de tal forma que provocan un mayor o menor desequilibrio ecológico y dañan la salud y el bienestar humanos. (p. 307)

Por otra parte, Domínguez (2015), sostiene que “la contaminación ambiental es un proceso cíclico que involucra todos los ambientes: aire, agua y suelo, y desde cualquier perspectiva, a los seres vivos tanto emisores como receptores de los contaminantes”.

Eutrofización:

Se define la eutrofización como “el enriquecimiento de las aguas superficiales con nutrientes disponibles para las plantas. Si bien la eutrofización se produce en forma natural, normalmente está asociada a fuentes antropogénicas de nutrientes”. (Moreno et al., 2010, p. 25)

Valores máximos admisibles:

En el Perú, en el año 2009, mediante Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, se aprobaron los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario; y en el año 2019 se publicó su reglamento mediante el Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA. Así mismo, el Ministerio del Ambiente mediante el Decreto Supremo N° 004-2017-

MINAM establece la categoría de Aguas Superficiales Destinadas para Recreación (Categoría 1-B), definiendo a las mismas como aquellas “aguas superficiales destinadas al uso recreativo, que en la zona costera marina comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea”, estableciendo dentro de los parámetros Físicos-Químicos, un valor para la Turbiedad de 100 NTU (Ministerio del Ambiente, 2017).

Floculación:

En el tratamiento de aguas residuales, la floculación es una técnica de separación sólido-líquido ampliamente utilizada, que generalmente emplea un polímero cargado llamado polielectrolito (Grenda et al., 2020). Así mismo, de acuerdo con Cabrera et al. (2009),

La floculación trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin de aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos. (p. 65)

Coagulación-Floculación:

Con respecto a la coagulación-floculación, Aboulhassan et al. (2006) afirman:

La coagulación-floculación siempre ha recibido una atención considerable para lograr una alta eficiencia de eliminación en el tratamiento de aguas residuales; este proceso se puede aplicar directamente a las aguas

residuales para eliminar compuestos orgánicos y sólidos sin afectar la toxicidad de las aguas residuales. (p. 40)

Coagulantes inorgánicos:

Según Muthuraman y Sasikala (2014), entre los coagulantes inorgánicos más usados están el sulfato de aluminio, el cloruro férrico, el carbonato cálcico y el polímero orgánico sintético (cloruro de polialuminio).

2.3. Bases filosóficas

El pensamiento filosófico relacionado al presente estudio, se puede enmarcar en las ideas de Piñón (2001), quien afirma,

El medio ambiente es, sobre todo, el hombre mismo, sus pensamientos, sueños, utopías, creencias y, por supuesto, todo lo que hace en el mundo. Por lo tanto, el medio ambiente del que estamos hablando es nuestra propia creación humana.

En este sentido, Garzón-Pascagaza (2017) manifiesta:

Para que nuestra presencia y legado cobren importancia y reconocimiento, dependemos de todos los esfuerzos e inversiones que hagamos para participar activa y constantemente en los diferentes espacios que permitan posibilidades reales de calidad de vida y construcción de relaciones humanas que conduzcan a sentirnos seres humanos útiles y de provecho.

En definitiva, dicho con palabras de Mosterín (1994), citado por Comins Mingol (2016),

La solución a los problemas ecológicos de la actualidad (de los que depende el destino de la vida y de la humanidad en la Tierra) implica una nueva religiosidad, no dogmática e irracional, sino racional y filosófica, que une la comprensión científica con el respeto emocional y relación mística.

En síntesis, considerando lo dicho por Domínguez (2015):

Hay que tener en cuenta que el problema de la contaminación es una consecuencia inevitable de nuestros hábitos de vida y consumo, y es muy difícil eliminarla por completo. Por tanto, todos debemos ser conscientes de la responsabilidad que tenemos cada uno de nosotros en relación con el planeta, ya sea como industriales o productores, comerciantes, profesionales o consumidores, tratando al máximo de minimizar los contaminantes que producimos y enfocar nuestros esfuerzos a generar procesos ambientales que generen un impacto positivo en el ambiente.

2.4. Definición de términos básicos

Con base en el Ministerio del Ambiente (2012), se tienen las siguientes definiciones de términos básicos:

AGUA

El agua constituye un recurso natural de característica renovable, necesaria para el desarrollo de la vida, vulnerable y estratégica desde el punto de vista del desarrollo sostenible. Por lo que es necesaria la preservación de los sistemas y ciclos naturales que la preservan.

AGUAS RESIDUALES

Es el agua cuyas propiedades han sido modificadas por la actividad humana necesita un tratamiento previo y puede terminar en cuerpos de agua naturales o ser reutilizada.

CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Es la actividad y condición resultante de la liberación de contaminantes que superan las cantidades y/o concentraciones máximas permitidas para el ser humano, teniendo en cuenta el aspecto acumulativo o sinérgico de estos en el medio ambiente.

CONTAMINANTE AMBIENTAL

Es toda sustancia material o energía que, al estar asociada al medio ambiente, lo afecta y debilita haciendo que su calidad sea insuficiente para la salud y el bienestar humanos, además de amenazar los ecosistemas.

DAÑO AMBIENTAL

Es cualquier impacto sobre el medio ambiente y/o sus componentes, que puede o no ocurrir en violación de la ley y tiene un impacto negativo real o potencial.

Se considera que el causante del daño ambiental es legalmente responsable del mismo, lo que significa asumir los costos asociados a las medidas preventivas y mitigadoras y el seguimiento y vigilancia de las actividades y medidas preventivas.

DESCONTAMINACIÓN

Eliminación de sustancias peligrosas, como productos químicos nocivos, bacterias peligrosas u otros organismos, o sustancias radiactivas del entorno abierto y del interior del edificio o del aire exterior.

Un proceso que utiliza medios físicos o químicos para remover y eliminar sustancias nocivas de materiales contaminados o del medio ambiente.

EFLUENTE

Se trata de un vertido directo de aguas residuales al medio ambiente, y la concentración de contaminantes se mide a través de los Límites Máximo Permisibles (LMP).

ESTÁNDAR DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA)

Es una norma ambiental que normaliza el nivel o concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que pueden estar presentes en el aire, agua o suelo de un estado receptor que no presentan una amenaza significativa para la salud humana o el medio ambiente.

LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (LMP)

Herramienta de gestión ambiental que regula la concentración o velocidad de las aguas residuales o de los elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que presentan las aguas residuales, cuyo exceso causa o puede afectar la salud, el bienestar humano y el medio ambiente.

COAGULACIÓN

La coagulación es un fenómeno coloidal importante que cambia la distribución del tamaño de las partículas de una gran cantidad de partículas pequeñas a una pequeña cantidad de partículas grandes (Chang, 2016).

La coagulación química es una parte esencial del tratamiento del agua potable y de las aguas residuales. En el agua potable, se utiliza para la clarificación del agua, utilizando agentes coagulantes principalmente para el tratamiento de aguas municipales (Barrera-Díaz et al., 2018).

COAGULANTES

Iron coagulants in the ferric form behave similarly to aluminum sulphate and form ferric hydroxide floc in the presence of bicarbonate alkalinity (Brandt et al., 2017b).

AYUDAS COAGULANTES Y POLIELECTROLITOS

Los auxiliares de coagulación se utilizan para mejorar las características de sedimentación de los flóculos producidos por coagulantes de aluminio o hierro. Los coadyuvantes de coagulación más utilizados son los polielectrolitos sintéticos, aunque todavía se utilizan algunos productos de almidón soluble. Los polielectrolitos son productos químicos orgánicos de cadena larga, que pueden ser catiónicos o aniónicos con densidades de carga variables, o no iónicos (Brandt et al., 2017a).

FLOCULACIÓN

La floculación permite que las partículas desestabilizadas se aglomeren en partículas más grandes que pueden eliminarse por gravedad a través de la sedimentación (Johnson, 2014).

FLOCULANTE

Floculante se refiere a la sustancia química o sustancia añadida a una suspensión para acelerar la tasa de floculación o para fortalecer los flóculos formados durante la floculación (Tarleton y Wakeman, 2007). Así mismo, Wang et al., (2021), define los floculantes como agentes que hacen que los sólidos o coloides finos y subfinos suspendidos en la solución formen grandes flóculos sueltos a través de la formación de puentes.

FLÓCULO

De acuerdo al Glosario ambiental de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (27 abril del 2020), es un grupo de sólidos formados en aguas residuales por acción biológica o química.

2.5. Hipótesis de investigación

2.5.1. Hipótesis general

Se puede reducir la turbidez de los efluentes líquidos de una planta de conservas de pescado mediante un proceso de coagulación -floculación, utilizando cloruro férrico (FeCl_3) y la sal polimérica de policloruro de aluminio (PAC).

2.5.2. Hipótesis específicas

- La concentración de cloruro férrico influye en la remoción de la turbidez de los efluentes líquidos de una fábrica de conservas de pescado.
- La concentración de la sal polimérica de policloruro de aluminio influye en la disminución de la turbidez de los efluentes líquidos de una fábrica de conservas de pescado.
- Obteniendo un porcentaje de combinación óptimo entre el cloruro férrico y la sal polimérica de policloruro de aluminio se puede lograr una mejor remoción de la turbidez de los efluentes líquidos de una fábrica de conservas de pescado.
- La concentración del floculante aniónico influye en la remoción de la turbidez de los efluentes líquidos de una fábrica de conservas de pescado.

2.6. Operacionalización de variables

Las variables independientes y dependientes, así como sus dimensiones e indicadores se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores
Variables independientes		
• Tratamiento con cloruro férrico (FeCl ₃)	Partes por millón de FeCl ₃	ppm
• Tratamiento con la sal polimérica policloruro de aluminio (PAC)	Partes por millón de PAC	ppm
• Tratamiento con combinación de coagulantes	Porcentaje de FeCl ₃ y PAC	%
• Tratamiento con floculante de polímero aniónico	Partes por millón de floculante de polímero aniónico	ppm
Variable dependiente		
• Remoción de turbidez	Turbidez	NTU

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

Teniendo en cuenta el problema propuesto y los objetivos planteados, la investigación se clasifica en la siguiente tipología:

Tipo de investigación: **Aplicada**.

Nivel de investigación: **Explicativo - relacional**.

En cuanto al Enfoque de investigación: Cuantitativo y con respecto al alcance de la investigación es **explicativo**, debido a que el interés del estudio está centrado en “explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables” (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 95).

Diseño de investigación: **Experimental**. Los experimentos son de un solo factor en donde se compararán las medias.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población la constituyen los vertidos líquidos de las plantas de conservas de pescado localizadas en la zona industrial de la bahía de Chimbote.

3.2.2. Muestra

Efluentes líquidos de la fábrica de conserva de pescado de la empresa Genesis EIRL ubicada en la zona industrial de la bahía de Chimbote.

3.3. Técnicas de recolección de datos

La obtención de los datos se realizó mediante la observación experimental cuantitativa, a través de fichas de registros, guías y escalas de observación.

Los análisis para encontrar la turbidez, se realizaron por las técnicas descritas en el Standard Methods (APHA, 2005) para la turbiedad (2130-A).

En la medición de la turbidez se utilizó el turbidímetro Turbiquant 1100 IR.

El proceso de Coagulación-Floculación se realizó en un equipo de prueba de Jarras programable de 6 posiciones.

El trabajo de investigación se dividió en las siguientes etapas:

- 1) Toma de muestras del agua residual de la empresa de conservas de pescado.
- 2) Caracterización inicial de la muestra.
- 3) Preparación de las concentraciones (ppm) de los coagulantes cloruro férrico (FeCl_3) y policloruro de aluminio (PAC).
- 4) Tratamiento de Coagulación-Floculación: El volumen del agua tratado fue de 2 L.
 - En el proceso de la coagulación, la velocidad de agitación fue de 120 r.p.m. y con un tiempo de agitación de 5 minutos. Se utilizaron los coagulantes FeCl_3 y PAC, individualmente y de forma combinada.
 - En la floculación, la velocidad de agitación se reduce a 50 r.p.m. para permitir la formación del flóculo evitando que se rompa, con un tiempo de agitación de 5 minutos. Se utilizó como floculante un polímero aniónico de alto peso molecular a una concentración constante de 60 ppm, la cual se mantuvo constante para cada uno de los coagulantes (FeCl_3 y PAC) por separado y de forma combinada.
- 5) Evaluar la turbidez del agua tratada mediante el proceso de Coagulación-Floculación para diversas concentraciones de los coagulantes FeCl_3 y PAC (individualmente y de forma combinada) y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm.

6) Se determinó el porcentaje de remoción de la turbiedad del agua residual después del proceso de Coagulación-Floculación.

Se utilizará la siguiente fórmula:

$$\%_{Remoción} = \frac{Turbidez_{inicial} - Turbidez_{final}}{Turbidez_{inicial}} \times 100$$

7) Determinar las concentraciones (en ppm) óptimas de los coagulantes FeCl₃ y PAC con una concentración constante del floculante de polímero aniónico de 60 ppm.

8) Se determinó el porcentaje de mezcla óptimo de la combinación FeCl₃ y PAC con una concentración constante del floculante de polímero aniónico de 60 ppm.

9) Se evaluó el proceso de floculación utilizando diversas concentraciones de floculante aniónico, manteniendo constante la dosis óptima encontrada para la mezcla de FeCl₃ y PAC. Se determinó la concentración óptima del floculante aniónico.

3.4. Técnicas para el procedimiento de la información

Se realizó pruebas estadísticas paramétricas utilizando los softwares Microsoft Excel, SPSS 25.0 y R.

Se aplicó el test de normalidad de Shapiro-Wilk.

Se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, es un método no paramétrico que sirve para probar la H₀ de que las “m” muestras autónomas provienen de poblaciones similares o de una misma población (Ramírez y Polack, 2020).

Para comparar los distintos tratamientos en cuanto a las dosis empleadas, se realizó el test de Duncan, el cual es un método de comparación por pasos; es decir, mientras

más pasos existan entre dos medias, mayor es la diferencia mínima con la que se va a considerar que esas medias difieren significativamente (Casas y Veitía, 2008).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados

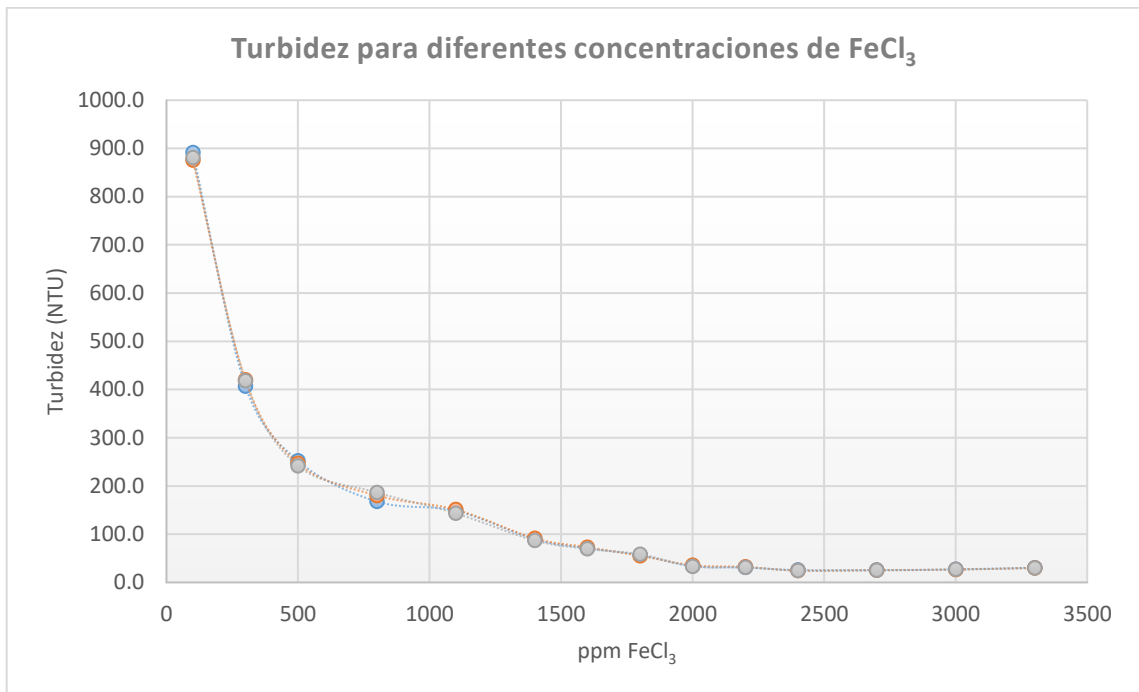
En la tabla 2 se muestran los valores medidos de la turbidez en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU, del inglés Nephelometric Turbidity Unit) para cada una de las dosis del coagulante FeCl_3 consideradas en los tratamientos y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm. En cuanto al pH del agua, presentó variaciones que iban desde 6-9. Se debe indicar, además, que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas. La turbidez inicial del agua residual fue de 2 992 NTU. El tiempo de duración de los procesos de coagulación y floculación fue de 5 minutos para cada uno de ellos.

Tabla 2. Medición de la Turbidez para diversas concentraciones del coagulante FeCl_3

Concentración (ppm)	Turbidez (NTU)			Turbidez promedio (NTU)
	T1	T2	T3	
100	891.3	875.8	880.9	882.7
300	407.0	420.1	418.4	415.2
500	252.1	246.6	241.6	246.8
800	167.7	180.1	186.5	178.1
1100	148.6	151.0	143.2	147.6
1400	89.4	91.3	86.8	89.2
1600	70.8	73.2	69.6	71.2
1800	56.6	55.3	58.6	56.8
2000	33.5	35.7	33.2	34.1
2200	30.9	32.2	31.0	31.4
2400	25.6	24.5	24.8	25.0
2700	25.7	25.4	24.9	25.3
3000	27.0	26.5	26.9	26.8
3300	30.8	30.0	29.7	30.2

En la figura 1 se muestran gráficamente los valores de la turbidez para los diferentes tratamientos con diversas concentraciones del coagulante FeCl_3 en partes por millón (ppm) y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm. Teniendo en cuenta de que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas.

Figura 1. Valores de la Turbidez para diversos tratamientos con el coagulante FeCl_3 .



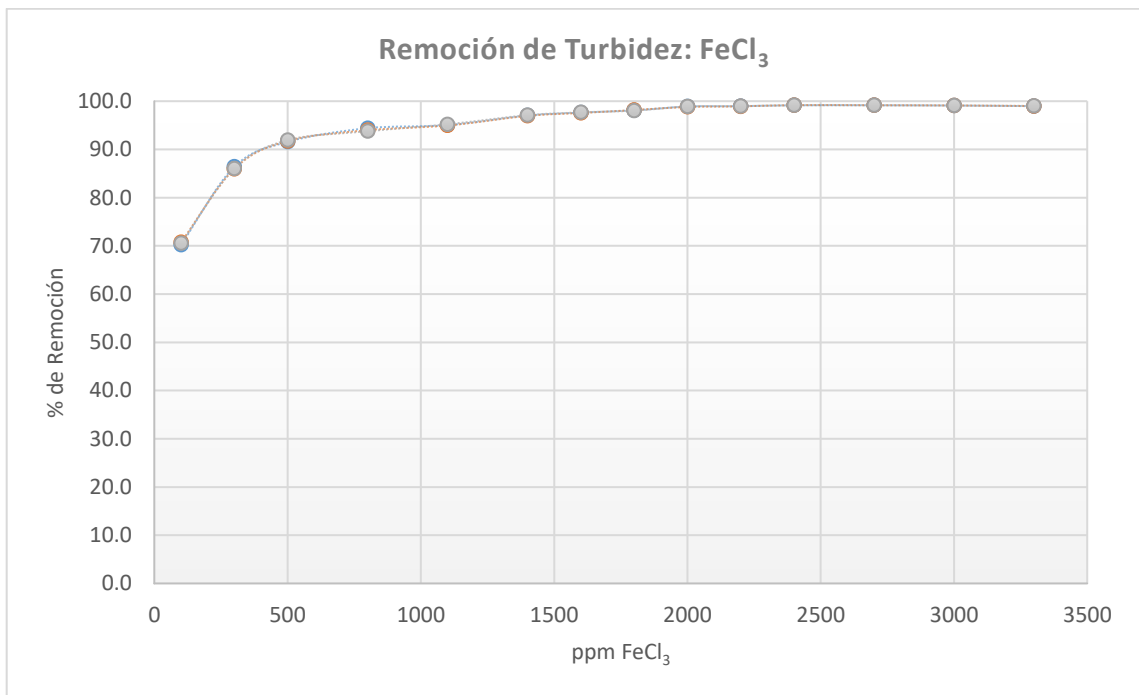
Los resultados de los porcentajes de disminución de los valores se muestran en la tabla 3, medidos de la turbidez con respecto a la turbidez inicial que fue de 2992 NTU para cada una de las dosis del coagulante FeCl_3 consideradas y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm. Teniendo en cuenta de que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas.

Tabla 3. Porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones del coagulante FeCl_3

Tratamiento	Disminución (%)			Promedio
	P1	P2	P3	
100	70.2	70.7	70.6	70.5
300	86.4	86.0	86.0	86.1
500	91.6	91.8	91.9	91.8
800	94.4	94.0	93.8	94.0
1100	95.0	95.0	95.2	95.1
1400	97.0	96.9	97.1	97.0
1600	97.6	97.6	97.7	97.6
1800	98.1	98.2	98.0	98.1
2000	98.9	98.8	98.9	98.9
2200	99.0	98.9	99.0	99.0
2400	99.1	99.2	99.2	99.2
2700	99.1	99.2	99.2	99.2
3000	99.1	99.1	99.1	99.1
3300	99.0	99.0	99.0	99.0

En la figura 2 se muestra gráficamente los porcentajes de remoción de los valores medidos de la turbidez con respecto a la turbidez inicial que fue de 2 992 NTU para cada una de las dosis del coagulante FeCl_3 consideradas y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm. Teniendo en cuenta de que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas.

Figura 2. Disminución de Turbidez para diversas concentraciones del coagulante FeCl_3



En la tabla 4 se detallan los principales resultados estadísticos de tipo descriptivo para la totalidad de los tratamientos para reducir la turbidez del agua residual procedente de una fábrica de conservas de pescado con el coagulante FeCl_3 y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de Turbidez para los tratamientos con el coagulante FeCl_3

Descriptivos	Estadístico	Error típico
Media	94.6095	1.18573
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	92.2149
	Límite superior	97.0042
Media recortada al 5%	95.6987	
Mediana	97.8500	
Varianza	59.050	
Desviación típica	7.68441	
Mínimo	70.20	
Máximo	99.20	
Rango	29.00	
Amplitud intercuartil	5.05	
Asimetría	-2.378	0.365
Curtosis	5.170	0.717

En la tabla 5 se muestran los resultados del test de comparaciones múltiples de Duncan que sirve para determinar que tratamientos se diferencian de los demás o, por el contrario, que tratamientos están teniendo el mismo efecto. Se puede observar que las dosis del coagulante FeCl_3 de 2000 ppm hasta 2700 ppm están en la misma columna, por lo que estas 4 dosis de FeCl_3 están teniendo el mismo efecto en el porcentaje de disminución de la turbidez; y lo mismo se puede afirmar para las 5 dosis que van desde 2200 ppm hasta 3300 ppm.

Tabla 5. Test de Duncan del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones del coagulante FeCl₃

Tratamiento	N°	Subconjunto para alfa = 0.05										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
100 ppm	3	70.5000										
300 ppm	3		86.1333									
500 ppm	3			91.7667								
800 ppm	3				94.0667							
1100 ppm	3					95.0667						
1400 ppm	3						97.0000					
1600 ppm	3							97.6333				
1800 ppm	3								98.1000			
2000 ppm	3									98.8667		
2200 ppm	3									98.9667	98.9667	
2400 ppm	3									99.0000	99.0000	
2700 ppm	3									99.1000	99.1000	
3000 ppm	3										99.1667	
3300 ppm	3										99.1667	
Significancia		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.078	0.138

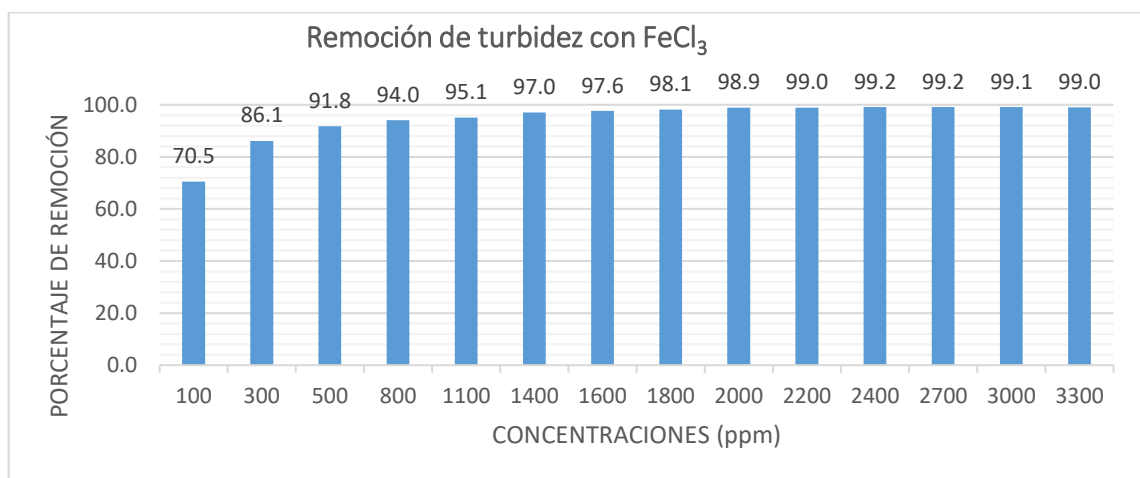
En cuanto al mayor porcentaje de disminución de turbidez por tratamiento, empleando el coagulante FeCl_3 y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm, se puede observar en la tabla 6, que corresponde a la dosis de 3000 ppm con una media de 99.2 % de disminución de turbidez.

Tabla 6. Resultados estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de Turbidez para cada uno de los tratamientos con el coagulante FeCl_3

FeCl_3	N°	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
100 ppm	3	70.5000	0.26458	0.15275	69.8428	71.1572	70.20	70.70
300 ppm	3	86.1333	0.23094	0.13333	85.5596	86.7070	86.00	86.40
500 ppm	3	91.7667	0.15275	0.08819	91.3872	92.1461	91.60	91.90
800 ppm	3	94.0667	0.30551	0.17638	93.3078	94.8256	93.80	94.40
1100 ppm	3	95.0667	0.11547	0.06667	94.7798	95.3535	95.00	95.20
1400 ppm	3	97.0000	0.10000	0.05774	96.7516	97.2484	96.90	97.10
1600 ppm	3	97.6333	0.05774	0.03333	97.4899	97.7768	97.60	97.70
1800 ppm	3	98.1000	0.10000	0.05774	97.8516	98.3484	98.00	98.20
2000 ppm	3	98.8667	0.05774	0.03333	98.7232	99.0101	98.80	98.90
2200 ppm	3	98.9667	0.05774	0.03333	98.8232	99.1101	98.90	99.00
2400 ppm	3	99.1667	0.05774	0.03333	99.0232	99.3101	99.10	99.20
2700 ppm	3	99.1667	0.05774	0.03333	99.0232	99.3101	99.10	99.20
3000 ppm	3	99.1000	0.00000	0.00000	99.1000	99.1000	99.10	99.10
3300 ppm	3	99.0000	0.00000	0.00000	99.0000	99.0000	99.00	99.00
Total	42	94.6095	7.68441	1.18573	92.2149	97.0042	70.20	99.20

En la figura 3 se puede observar gráficamente los porcentajes de disminución de turbiedad para cada uno de los tratamientos con las distintas concentraciones del coagulante FeCl_3 y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm, destacándose el porcentaje de disminución de 99.2 %.

Figura 3. Medias aritméticas de los porcentajes de reducción de la turbidez para cada una de las concentraciones de FeCl_3 empleadas



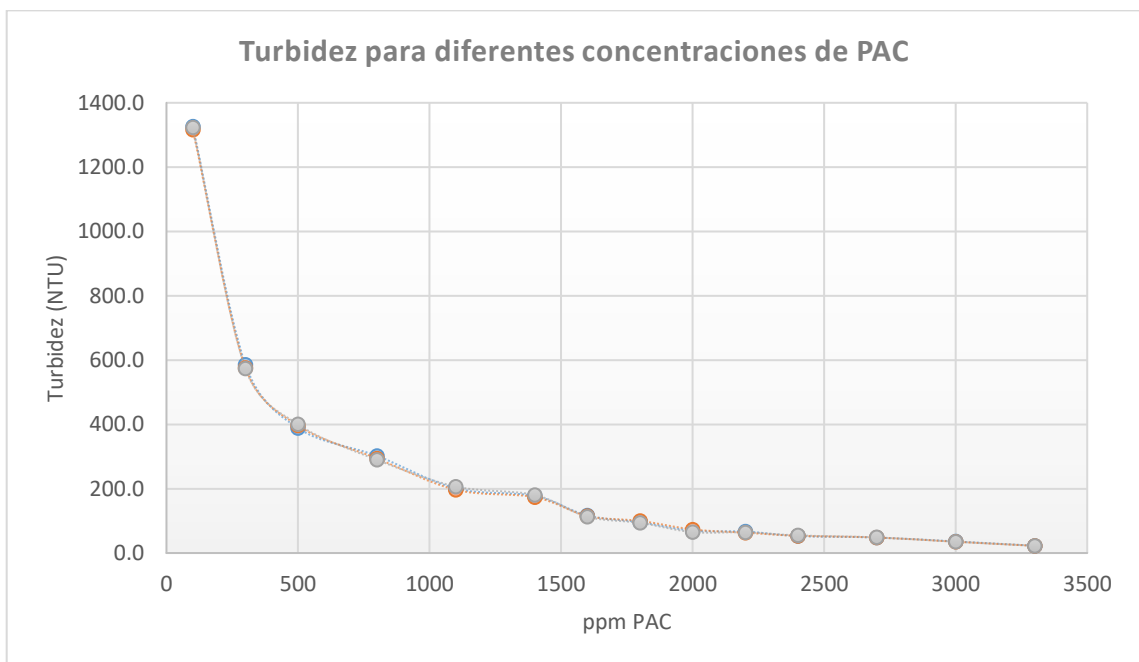
En la tabla 7 se detallan los valores medidos de la turbidez en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) para cada una de las dosis del coagulante PAC consideradas en los tratamientos y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm. En cuanto al pH del agua, presentó variaciones que iban desde 6-9. Se debe indicar, además, que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas. La turbidez inicial del agua residual fue de 2 928 NTU. El tiempo de duración de los procesos de coagulación y floculación fue de 5 minutos para cada uno de ellos.

Tabla 7. Medición de la Turbidez para diversas concentraciones del coagulante PAC

Concentración (ppm)	Turbidez (NTU)			Turbidez promedio (NTU)
	P1	P2	P3	
100	1326.1	1316.2	1323.0	1321.8
300	586.1	576.2	573.4	578.6
500	388.4	396.3	400.2	395.0
800	302.2	294.3	290.0	295.5
1100	201.0	196.5	206.7	201.4
1400	177.4	173.6	180.6	177.2
1600	116.7	115.1	112.8	114.9
1800	95.9	100.0	93.9	96.6
2000	69.6	73.4	65.0	69.3
2200	66.8	63.3	64.4	64.8
2400	52.9	53.6	54.9	53.8
2700	48.2	48.3	48.7	48.4
3000	35.9	35.0	35.2	35.4
3300	22.7	22.4	22.7	22.6

En la figura 4 se muestran gráficamente los valores de la turbidez para los diversos tratamientos con diferentes concentraciones del coagulante PAC en partes por millón (ppm) y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm. Teniendo en cuenta de que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas.

Figura 4. Valores de la Turbidez para diversos tratamientos con el coagulante PAC



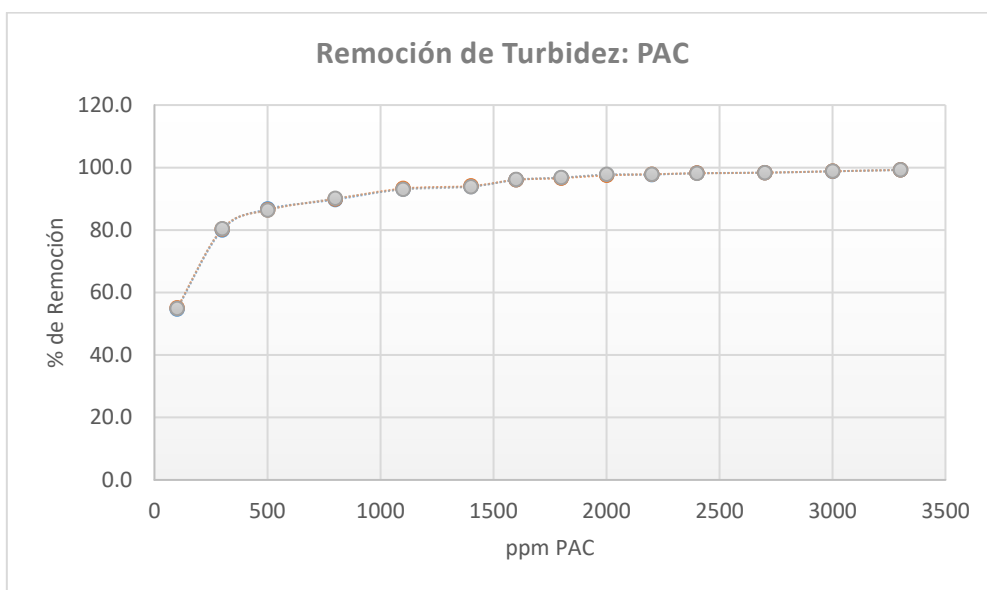
En la tabla 8 se detallan los resultados de los porcentajes de disminución de los valores medidos de la turbidez con respecto a la turbidez inicial que fue de 2 928 NTU para cada una de las dosis del coagulante PAC consideradas en los tratamientos y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm. Teniendo en cuenta de que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas.

Tabla 8. Porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones del coagulante PAC

Concentración (ppm)	Disminución (%)			Promedio
	P1	P2	P3	
100	54.7	55.0	54.8	54.9
300	80.0	80.3	80.4	80.2
500	86.7	86.5	86.3	86.5
800	89.7	89.9	90.1	89.9
1100	93.1	93.3	92.9	93.1
1400	93.9	94.1	93.8	93.9
1600	96.0	96.1	96.1	96.1
1800	96.7	96.6	96.8	96.7
2000	97.6	97.5	97.8	97.6
2200	97.7	97.8	97.8	97.8
2400	98.2	98.2	98.1	98.2
2700	98.4	98.4	98.3	98.3
3000	98.8	98.8	98.8	98.8
3300	99.2	99.2	99.2	99.2

En la figura 5 se muestra gráficamente los porcentajes de disminución de los valores medidos de la turbidez con respecto a la turbidez inicial que fue de 2 928 NTU para cada una de las dosis del coagulante PAC consideradas en los tratamientos y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm. Teniendo en cuenta de que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas.

Figura 5. Disminución de Turbidez para diversas concentraciones del coagulante PAC



En la tabla 9 se detallan los principales resultados estadísticos de tipo descriptivo para la totalidad de los tratamientos para reducir la turbidez del agua residual procedente de una fábrica de conservas de pescado con el coagulante PAC y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm.

Tabla 9. Resultados estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de Turbidez para los tratamientos con PAC

Descriptivos	Estadístico	Error típico
Media	91.5143	1.78873
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	87.9019
	Límite superior	95.1267
Media recortada al 5%	93.1291	
Mediana	96.3500	
Varianza	134,382	
Desviación típica	11.59231	
Mínimo	54.70	
Máximo	99.20	
Rango	44.50	
Amplitud intercuartil	8.35	
Asimetría	-2.404	0.365
Curtosis	5.408	0.717

En la tabla 10 se muestran el test de comparaciones múltiples de Duncan que sirve para determinar que tratamientos se diferencian de los demás o, por el contrario, que tratamientos están teniendo el mismo efecto. Se puede observar que las dosis de PAC de 2 000 ppm y 2 200 ppm están en la misma columna, por lo que ambas dosis de PAC están teniendo el mismo efecto en el porcentaje de disminución de la turbidez; y lo mismo se puede afirmar para las dosis de 2400 ppm y 2700 ppm.

Tabla 10. Test de Duncan del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de PAC

Tratamiento	N°	Subconjunto para alfa = 0.05												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
100 ppm	3	54.8333												
300 ppm	3		80.2333											
500 ppm	3			86.5000										
800 ppm	3				89.9000									
1100 ppm	3					93.1000								
1400 ppm	3						93.9333							
1600 ppm	3							96.0667						
1800 ppm	3								96.7000					
2000 ppm	3									97.6333				
2200 ppm	3									97.7667				
2400 ppm	3										98.1667			
2700 ppm	3										98.3667			
3000 ppm	3											98.8000		
3300 ppm	3												99.2000	
Significancia		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.238	0.081	1.000	1.000	

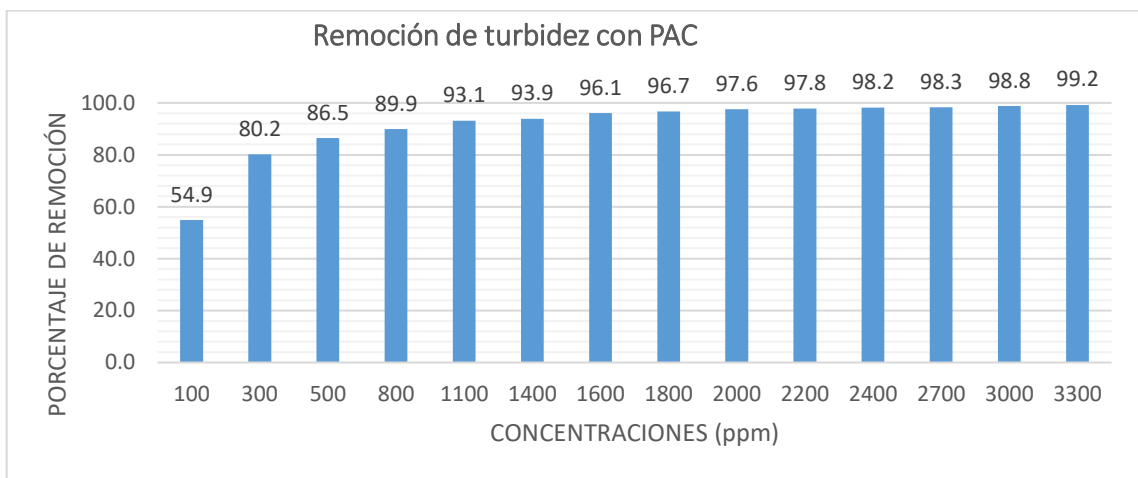
En cuanto al mayor porcentaje de disminución de turbidez por tratamiento, empleando el coagulante PAC y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm, se puede observar en la tabla 11, que corresponde a la dosis de 3000 ppm con una media de 99.2 % de disminución de turbidez.

Tabla 11. Resultados estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de Turbidez para cada uno de los tratamientos con PAC

PAC	N°	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
100 ppm	3	54.8333	0.15275	0.08819	54.4539	55.2128	54.70	55.00
300 ppm	3	80.2333	0.20817	0.12019	79.7162	80.7504	80.00	80.40
500 ppm	3	86.5000	0.20000	0.11547	86.0032	86.9968	86.30	86.70
800 ppm	3	89.9000	0.20000	0.11547	89.4032	90.3968	89.70	90.10
1100 ppm	3	93.1000	0.20000	0.11547	92.6032	93.5968	92.90	93.30
1400 ppm	3	93.9333	0.15275	0.08819	93.5539	94.3128	93.80	94.10
1600 ppm	3	96.0667	0.05774	0.03333	95.9232	96.2101	96.00	96.10
1800 ppm	3	96.7000	0.10000	0.05774	96.4516	96.9484	96.60	96.80
2000 ppm	3	97.6333	0.15275	0.08819	97.2539	98.0128	97.50	97.80
2200 ppm	3	97.7667	0.05774	0.03333	97.6232	97.9101	97.70	97.80
2400 ppm	3	98.1667	0.05774	0.03333	98.0232	98.3101	98.10	98.20
2700 ppm	3	98.3667	0.05774	0.03333	98.2232	98.5101	98.30	98.40
3000 ppm	3	98.8000	0.00000	0.00000	98.8000	98.8000	98.80	98.80
3300 ppm	3	99.2000	0.00000	0.00000	99.2000	99.2000	99.20	99.20
Total	42	91.5143	11.59231	1.78873	87.9019	95.1267	54.70	99.20

La figura 6 muestra gráficamente el porcentaje de reducción de turbidez para cada de los tratamientos con los diferentes coagulantes PAC y con el floculante polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm, destacándose el porcentaje de disminución de 99.2 %.

Figura 6. Medias aritméticas de los porcentajes de reducción de la turbidez para cada una de las concentraciones del coagulante PAC empleadas



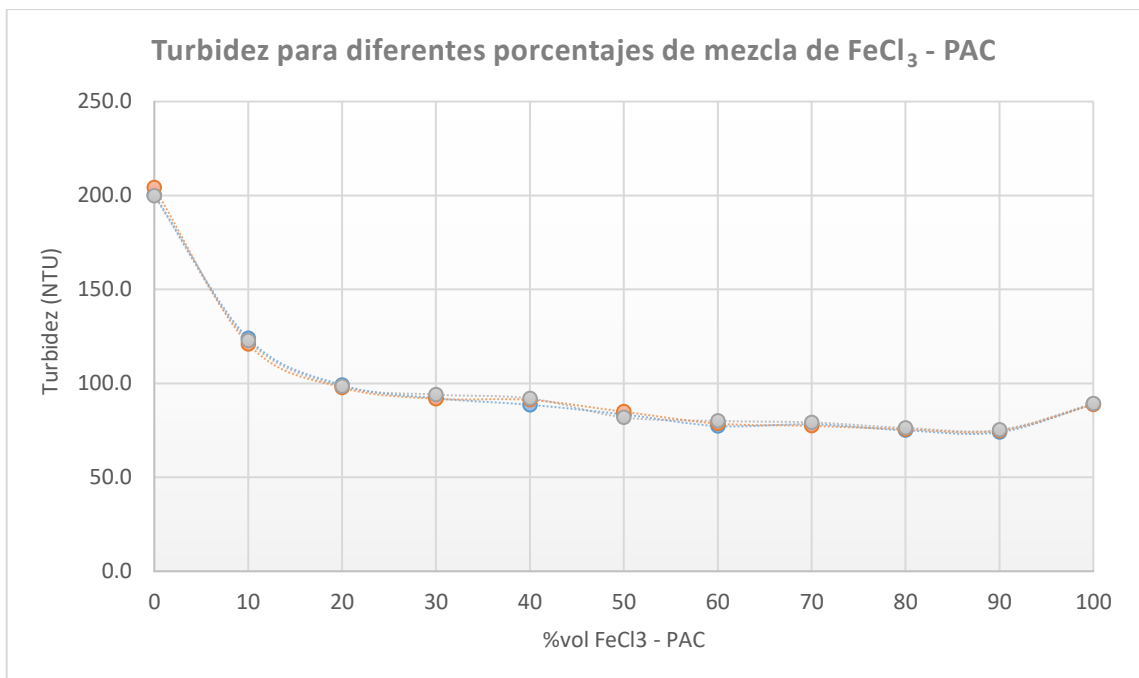
En la tabla 12 se detallan los valores medidos de la turbiedad en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) para cada uno de los diferentes porcentajes en volumen de las mezclas entre los coagulantes FeCl_3 y PAC considerados como dosis de tratamientos y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm. En cuanto al pH del agua, presentó variaciones que iban desde 6-9. Se debe indicar, además, que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas. La turbidez inicial del agua residual fue de 3 016 NTU. El tiempo de duración de los procesos de coagulación y floculación fue de 5 minutos para cada uno de ellos.

Tabla 12. Medición de la Turbidez para diversos porcentajes de mezcla entre los coagulantes FeCl_3 - PAC

Mezcla FeCl_3/PAC (%)	Turbidez (NTU)			Turbidez promedio (NTU)
	P1	P2	P3	
0	200.4	204.2	199.8	201.5
10	123.9	121.0	122.8	122.6
20	99.1	97.8	98.5	98.5
30	92.1	91.8	94.0	92.6
40	88.6	91.2	92.0	90.6
50	83.5	84.9	81.9	83.4
60	77.3	78.6	80.0	78.6
70	78.2	77.4	79.2	78.3
80	75.0	75.6	76.3	75.6
90	74.0	74.8	75.2	74.7
100	89.0	88.7	89.2	89.0

En la figura 7 se muestran gráficamente los valores de la turbidez para los diferentes porcentajes en volumen de las mezclas entre los coagulantes FeCl_3 y PAC y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm. Teniendo en cuenta de que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas.

Figura 7. Valores de la Turbidez para diversos porcentajes de mezcla entre los coagulantes FeCl_3 - PAC



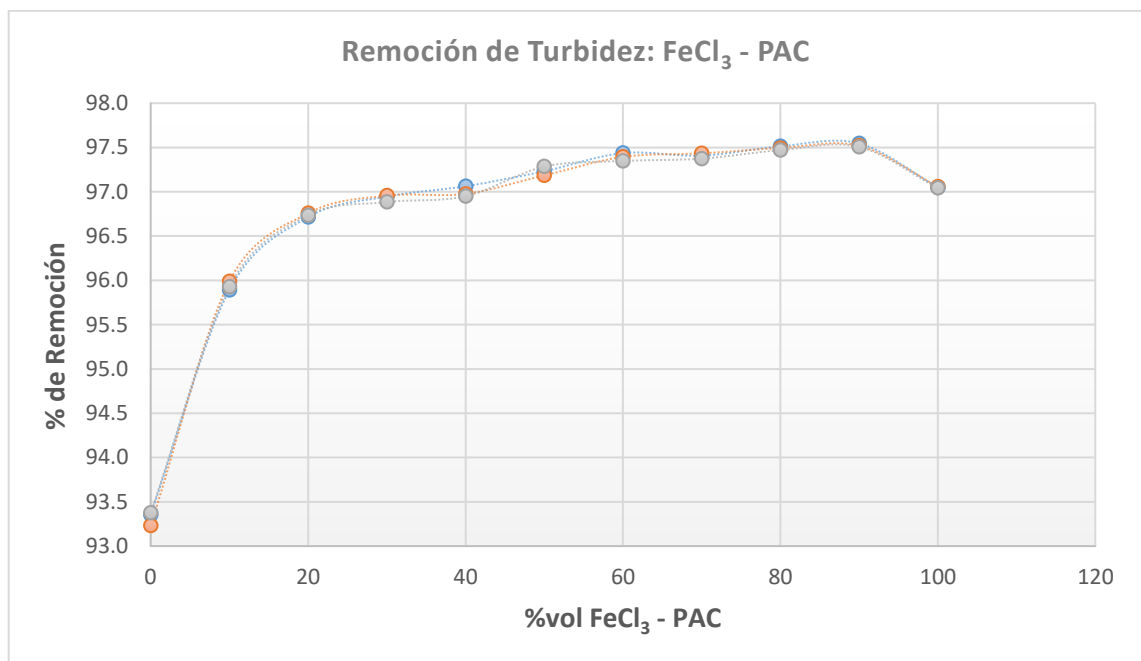
En la tabla 13 se detallan los resultados de los porcentajes de disminución de los valores medidos de la turbidez con respecto a la turbidez inicial que fue de 3 016 NTU para los diferentes porcentajes en volumen de las mezclas entre los coagulantes FeCl₃ y PAC considerados y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm. Teniendo en cuenta de que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas.

Tabla 13. Porcentaje de disminución de Turbidez para diversos porcentajes de mezcla de los coagulantes FeCl₃ - PAC

Tratamiento FeCl ₃ /PAC (%)	Disminución (%)			Promedio
	P1	P2	P3	
0	93.4	93.2	93.4	93.3
10	95.9	96.0	95.9	95.9
20	96.7	96.8	96.7	96.7
30	96.9	97.0	96.9	96.9
40	97.1	97.0	96.9	97.0
50	97.2	97.2	97.3	97.2
60	97.4	97.4	97.3	97.4
70	97.4	97.4	97.4	97.4
80	97.5	97.5	97.5	97.5
90	97.5	97.5	97.5	97.5
100	97.0	97.1	97.0	97.1

En la figura 8 se muestra gráficamente los porcentajes de disminución de los valores medidos de la turbidez con respecto a la turbidez inicial que fue de 3 016 NTU para los diferentes porcentajes en volumen de las mezclas entre los coagulantes FeCl_3 y PAC consideradas y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm. Teniendo en cuenta de que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas.

Figura 8. Disminución de Turbidez para diversos porcentajes de mezcla de los coagulantes FeCl_3 - PAC



En la tabla 14 se detallan los principales resultados estadísticos de tipo descriptivo para la totalidad de los tratamientos para reducir la turbidez del agua residual procedente de una fábrica de conservas de pescado con los porcentajes en volumen de las mezclas entre los coagulantes FeCl_3 y PAC y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm.

Tabla 14. Resultados estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de la Turbidez para diversos porcentajes de mezcla FeCl_3 - PAC

Descriptivos	Estadístico	Error típico
Media	96.7242	0.20436
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	96.3080
	Límite superior	97.1405
Media recortada al 5%	96.8726	
Mediana	97.1000	
Varianza	1.378	
Desviación típica	1.17394	
Mínimo	93.20	
Máximo	97.50	
Rango	4.30	
Amplitud intercuartil	0.65	
Asimetría	-2.336	0.409
Curtosis	4.702	0.798

En la tabla 15 se muestra el test de comparaciones múltiples de Duncan que sirve para determinar que tratamientos se diferencian de los demás o, por el contrario, que tratamientos están teniendo el mismo efecto. Se puede observar que las dosis de porcentajes de mezcla FeCl_3 - PAC de 30 %, 40 % y 100 % están en la misma columna, por lo que estas 3 dosis de porcentajes de mezcla FeCl_3 - PAC están teniendo el mismo efecto en el porcentaje de disminución de la turbidez; y lo mismo se puede afirmar para los grupos de dosis de 60 % y 70 % y de 70 %, 80 % y 90 %.

Tabla 15. Test de Duncan del porcentaje de disminución de Turbidez para diversos porcentajes de mezcla FeCl₃ - PAC

Tratamiento FeCl ₃ /PAC (%)	N°	Subconjunto para alfa = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	7
0 %	3	93.3333						
10 %	3		95.9333					
20 %	3			96.7333				
30 %	3				96.9333			
40 %	3				97.0000			
100 %	3				97.0333			
50 %	3					97.2333		
60 %	3						97.3667	
70 %	3						97.4000	97.4000
80 %	3							97.5000
90 %	3							97.5000
Significancia		1.000	1.000	1.000	0.077	1.000	0.522	0.077

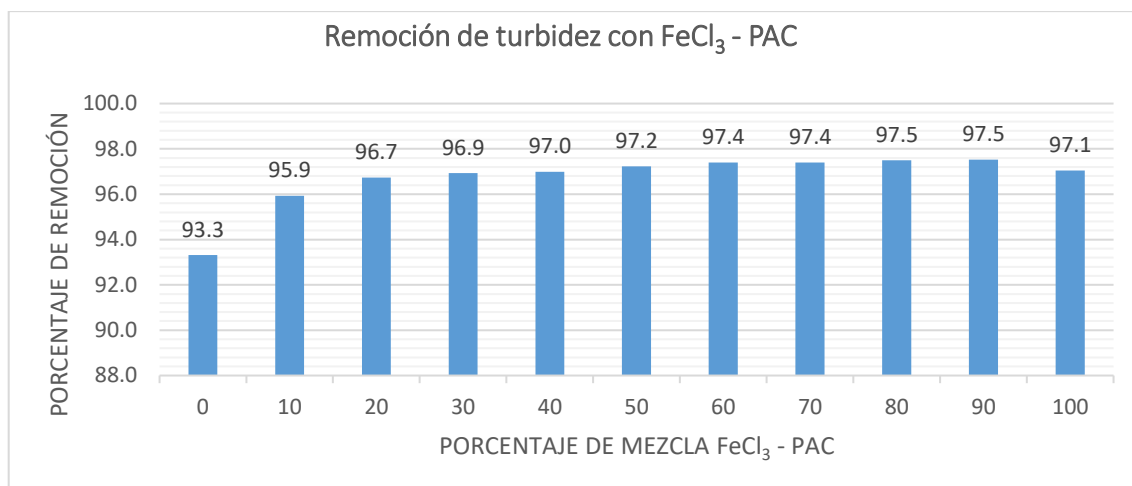
En cuanto al mayor porcentaje de disminución de Turbidez para diferentes porcentajes de mezcla de los coagulantes FeCl_3 - PAC y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm, se puede observar en la tabla 16, que corresponde a las dosis de 80 y 90 % con una media de 97.5 % de disminución de turbidez.

Tabla 16. Resultados estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de la turbiedad para cada uno de los tratamientos con diversos porcentajes de mezcla FeCl_3 - PAC

FeCl ₃ /PAC (%)	Nº	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
0 %	3	93.3333	0.11547	0.06667	93.0465	93.6202	93.20	93.40
10 %	3	95.9333	0.05774	0.03333	95.7899	96.0768	95.90	96.00
20 %	3	96.7333	0.05774	0.03333	96.5899	96.8768	96.70	96.80
30 %	3	96.9333	0.05774	0.03333	96.7899	97.0768	96.90	97.00
40 %	3	97.0000	0.10000	0.05774	96.7516	97.2484	96.90	97.10
50 %	3	97.2333	0.05774	0.03333	97.0899	97.3768	97.20	97.30
60 %	3	97.3667	0.05774	0.03333	97.2232	97.5101	97.30	97.40
70 %	3	97.4000	0.00000	0.00000	97.4000	97.4000	97.40	97.40
80 %	3	97.5000	0.00000	0.00000	97.5000	97.5000	97.50	97.50
90 %	3	97.5000	0.00000	0.00000	97.5000	97.5000	97.50	97.50
100 %	3	97.0333	0.05774	0.03333	96.8899	97.1768	97.00	97.10
Total	33	96.7242	1.17394	0.20436	96.3080	97.1405	93.20	97.50

En la figura 9 se puede observar gráficamente las medias de los porcentajes de disminución de turbidez para cada uno de los tratamientos con los diferentes porcentajes de mezcla de los coagulantes FeCl_3 - PAC y con el floculante de polímero aniónico, cuya concentración se mantuvo constante a 60 ppm, destacándose el porcentaje de disminución de 97.5 %.

Figura 9. Medias aritméticas de los porcentajes de disminución de la turbidez para cada uno de los porcentajes de mezcla de los coagulantes FeCl_3 - PAC empleados



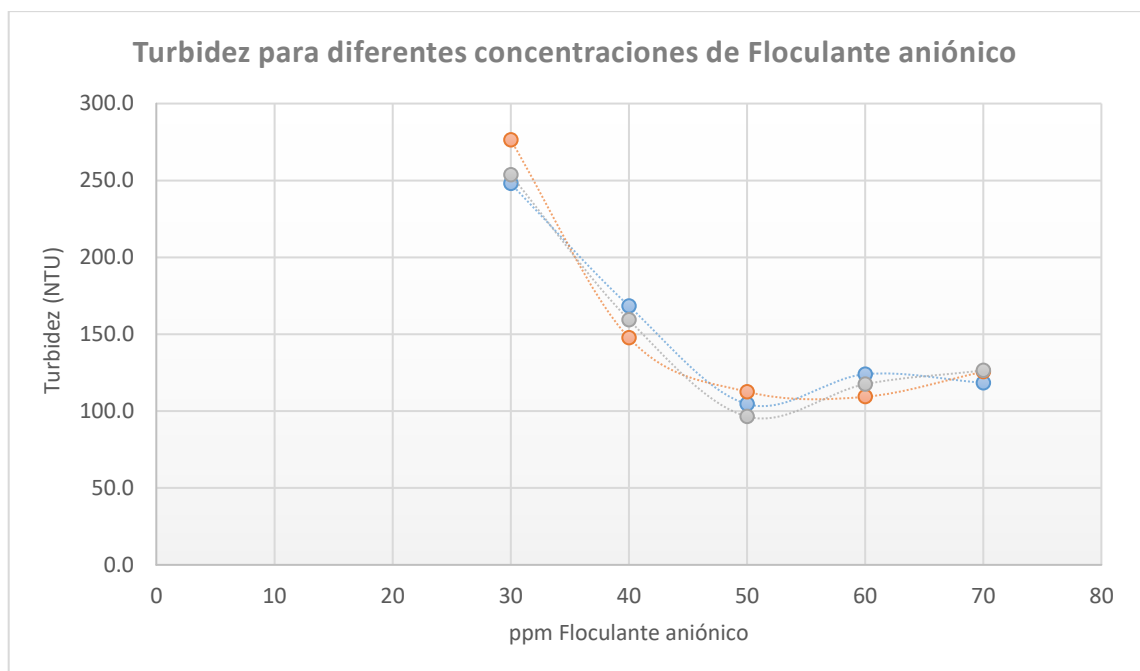
En la tabla 17 se detallan los valores medidos de la turbidez en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) para cada una de las dosis del floculante aniónico consideradas en los tratamientos y con la dosis óptima de la mezcla de FeCl₃ y PAC, cuyo valor se mantuvo constante a 80 %. En cuanto al pH del agua, presentó variaciones que iban desde 6-9. Se debe indicar, además, que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas. La turbidez inicial del agua residual fue de 3196 NTU. El tiempo de duración de los procesos de coagulación y floculación fue de 5 minutos para cada uno de ellos.

Tabla 17. Medición de la Turbidez para diversas concentraciones de Floculante Aniónico

Concentración (ppm)	Turbidez (NTU)			Turbidez promedio (NTU)
	P1	P2	P3	
30	248.0	276.3	253.6	259.3
40	168.4	147.7	159.4	158.5
50	104.6	112.6	96.5	104.6
60	124.0	109.3	117.5	116.9
70	118.4	125.6	126.4	123.5

En la figura 10 se muestran gráficamente los valores de la turbidez para los diferentes tratamientos con diferentes concentraciones del floculante aniónico en partes por millón (ppm) y con la dosis óptima de la mezcla de FeCl_3 y PAC, cuyo valor se mantuvo constante a 80 %. Teniendo en cuenta de que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas.

Figura 10. Valores de la Turbidez para diversas concentraciones de Floculante Aniónico



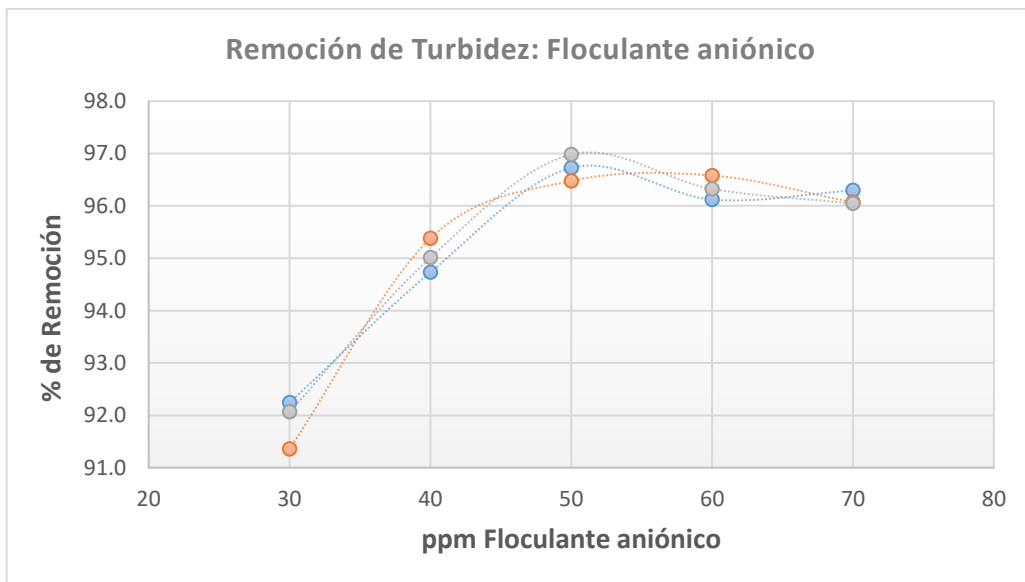
En la tabla 18 se detallan los resultados de los porcentajes de disminución de los valores medidos de la turbidez con respecto a la turbidez inicial que fue de 3 196 NTU para cada una de las dosis del floculante aniónico consideradas y con la dosis óptima de la mezcla de FeCl₃ y PAC, cuyo valor se mantuvo constante a 80 %. Teniendo en cuenta de que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas.

Tabla 18. Porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de Floculante aniónico

Tratamiento	Disminución %			Promedio
	P1	P2	P3	
30	92.2	91.4	92.1	91.9
40	94.7	95.4	95.0	95.0
50	96.7	96.5	97.0	96.7
60	96.1	96.6	96.3	96.3
70	96.3	96.1	96.0	96.1

En la figura 11 se muestra gráficamente los porcentajes de disminución de los valores medidos de la turbidez con respecto a la turbidez inicial que fue de 3 196 NTU para cada una de las dosis del del floculante aniónico consideradas y con la dosis óptima de la mezcla de FeCl_3 y PAC, cuyo valor se mantuvo constante a 80 %. Teniendo en cuenta de que se realizaron 3 réplicas en las mediciones para cada una de las dosis consideradas.

Figura 11. Disminución de Turbidez para diversas concentraciones de Floculante aniónico



En la tabla 19 se detallan los principales resultados estadísticos de tipo descriptivo para la totalidad de los tratamientos para reducir la turbidez del agua residual procedente de una fábrica de conservas de pescado con el floculante aniónico y con la dosis óptima de la mezcla de FeCl₃ y PAC, cuyo valor se mantuvo constante a 80 %.

Tabla 19. Resultados estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de Floculante aniónico

Descriptivos	Estadístico	Error típico
Media	95.2267	0.47404
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	94.2100
	Límite superior	96.2434
Media recortada al 5%	95.3407	
Mediana	96.1000	
Varianza	3.371	
Desviación típica	1.83594	
Mínimo	91.40	
Máximo	97.00	
Rango	5.60	
Amplitud intercuartil	1.80	
Asimetría	-1.289	0.580
Curtosis	0.283	1.121

En la tabla 20 se muestran el test estadístico de comparaciones múltiples de Duncan que sirve para determinar que tratamientos se diferencian de los demás o, por el contrario, que tratamientos están teniendo el mismo efecto. Se puede observar que las dosis de floculante aniónico de 50 ppm hasta 60 ppm están en la misma columna, por lo que estas 2 dosis de floculante de polímero aniónico están teniendo el mismo efecto en el porcentaje de disminución de la turbidez; y lo mismo se puede afirmar para las dosis de 60 ppm y 70 ppm.

Tabla 20. Test de Duncan del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de Floculante aniónico

Tratamiento	N°	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
30 ppm	3	91.9000			
40 ppm	3		95.0333		
70 ppm	3			96.1333	
60 ppm	3			96.3333	96.3333
50 ppm	3				96.7333
Significancia		1.000	1.000	0.440	0.139

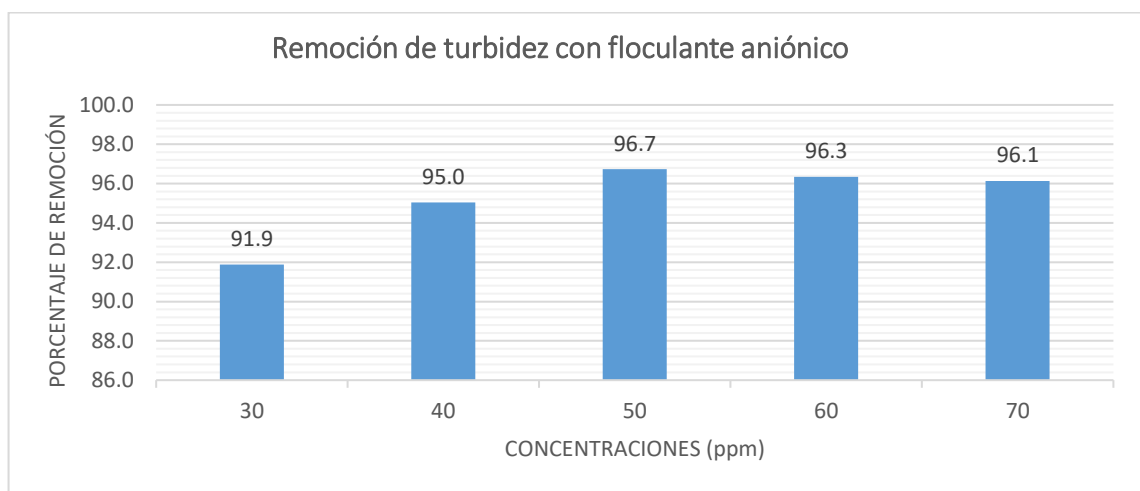
En cuanto al mayor porcentaje de disminución de turbidez empleando el floculante aniónico y con la dosis óptima de la mezcla de FeCl₃ y PAC, cuyo valor se mantuvo constante a 80 %, se puede observar en la tabla 21, que corresponde a la dosis de 50 ppm con una media de 96.7 % de disminución de turbidez.

Tabla 21. Resultados estadísticos descriptivos del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de Floculante aniónico

Floculante aniónico	N°	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
30 ppm	3	91.9000	0.43589	0.25166	90.8172	92.9828	91.40	92.20
40 ppm	3	95.0333	0.35119	0.20276	94.1609	95.9057	94.70	95.40
50 ppm	3	96.7333	0.25166	0.14530	96.1082	97.3585	96.50	97.00
60 ppm	3	96.3333	0.25166	0.14530	95.7082	96.9585	96.10	96.60
70 ppm	3	96.1333	0.15275	0.08819	95.7539	96.5128	96.00	96.30
Total	15	95.2267	1.83594	0.47404	94.2100	96.2434	91.40	97.00

En la figura 12 se advierte gráficamente los porcentajes de disminución de la turbiedad para cada uno de los tratamientos con las distintas concentraciones del floculante aniónico, destacándose el porcentaje de disminución de 96.7 % y con la dosis óptima de la mezcla de FeCl_3 y PAC, cuyo valor se mantuvo constante a 80 %.

Figura 12. Medias aritméticas de los porcentajes de reducción de la turbidez para cada una de las concentraciones del Floculante aniónico empleadas



4.2 Contrastación de hipótesis

Teniendo en cuenta que la investigación cuenta con una hipótesis general, a partir de la cual se deducen las hipótesis específicas, al contrastar las hipótesis específicas se estaría contrastando la hipótesis general.

Hipótesis específica 1:

H₀: La concentración de cloruro férrico no influye en la disminución de la turbidez de los efluentes líquidos de una fábrica de conservas de pescado.

H₁: La concentración de cloruro férrico influye en la disminución de la turbidez de los efluentes líquidos de una fábrica de conservas de pescado.

De acuerdo con el test estadístico de normalidad de Shapiro – Wilk, mostrada en la tabla 22, se puede observar que los datos no siguen una distribución normal debido a que la significancia es menor a 0.05, por lo que se procedió a usar una prueba no paramétrica.

Tabla 22. Test de normalidad de Shapiro - Wilk del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de FeCl₃

Prueba de Shapiro - Wilk		
Estadístico	Grados de libertad	Significancia
0.623	42	0.000

En la tabla 23 se detallan los resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis, en donde se observa el valor del estadístico H, que para 13 grados de libertad fue de 40.634. Además, se observa también que la significancia es menor a 0.05, por lo que existen diferencias significativas entre los tratamientos que se han evaluado. Por esta razón se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la concentración de cloruro férrico (FeCl_3) influye en la disminución de la turbidez de los efluentes líquidos de una industria de conservas de pescado.

Tabla 23. Prueba estadística no paramétrica de Kruskal - Wallis del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de FeCl_3

Estadísticos de prueba	
	% de disminución FeCl_3
H de Kruskal - Wallis	40.634
Grados de libertad	13
Significancia asintótica	0.000

Hipótesis específica 2:

H₀: La concentración de la sal polimérica de policloruro de aluminio no influye en la disminución de la turbidez de los efluentes líquidos de una fábrica de conservas de pescado.

H₁: La concentración de la sal polimérica de policloruro de aluminio influye en la disminución de la turbidez de los efluentes líquidos de una industria de conservas de pescado.

De acuerdo con el test de normalidad de Shapiro – Wilk, mostrada en la tabla 24, se puede observar que los datos no siguen una distribución normal debido a que la significancia es menor a 0.05, por lo que se procedió a usar una prueba estadística no paramétrica.

Tabla 24. Test de normalidad de Shapiro - Wilk del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de PAC.

Prueba de Shapiro - Wilk		
Estadístico	Grados de libertad	Significancia
0.639	42	0.000

En la tabla 25 se muestran los resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis, en donde se observa el valor del estadístico H, que para 13 grados de libertad fue de 40.802. Además, se observa también que la significancia es menor a 0.05, por lo que existen diferencias significativas entre los tratamientos que se han evaluado. Razón por la cual se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la concentración de

PAC influye en la disminución de la turbidez de los vertidos líquidos de una fábrica de conservas de pescado.

Tabla 25. Prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de PAC

Estadísticos de prueba	
	% de disminución PAC
H de Kruskal - Wallis	40.802
Grados de libertad	13
Significancia asintótica	0.000

Hipótesis específica 3:

H₀: Obteniendo un porcentaje de combinación óptimo entre el cloruro férrico y la sal polimérica de policloruro de aluminio no se puede lograr una mejor disminución de la turbidez de los efluentes líquidos de una fábrica de conservas de pescado.

H₁: Obteniendo un porcentaje de combinación óptimo entre el cloruro férrico y la sal polimérica de policloruro de aluminio no se puede lograr una mejor disminución de la turbidez de los efluentes líquidos de una fábrica de conservas de pescado.

De acuerdo con el test de normalidad de Shapiro – Wilk, mostrada en la tabla 26, se puede observar que los datos no siguen una distribución normal debido a que la significancia es menor a 0.05, por lo que se procedió a usar una prueba no paramétrica.

Tabla 26. Test de normalidad de Shapiro - Wilk del porcentaje de disminución de la Turbidez para diversos porcentajes de mezcla FeCl₃ - PAC

Prueba de Shapiro - Wilk		
Estadístico	Grados de libertad	Significancia
0.630	33	0.000

En la tabla 27 se muestran los resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis, en donde se observa el valor del estadístico H, que para 10 grados de libertad fue de 31.451. Además, se observa también que la significancia es menor a 0.05, por lo que existen diferencias significativas entre los tratamientos que se han evaluado. Razón por la cual se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que el porcentaje de mezcla de FeCl₃-PAC influye en la disminución de la turbidez de los efluentes líquidos de una fábrica de conservas de pescado.

Tabla 27. Prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis del porcentaje de disminución de Turbidez para diversos porcentajes de mezcla FeCl₃ - PAC

Estadísticos de prueba	
	% de disminución FeCl ₃ - PAC
H de Kruskal - Wallis	31.451
Grados de libertad	10
Significancia asintótica	0.000

Hipótesis específica 4:

H₀: La concentración del floculante aniónico no influye en la disminución de la turbidez de los efluentes líquidos de una fábrica de conservas de pescado.

H₁: La concentración del floculante aniónico influye en la disminución de la turbidez de los efluentes líquidos de una fábrica de conservas de pescado.

De acuerdo con el test de normalidad de Shapiro – Wilk, mostrada en la tabla 28, se puede observar que los datos no siguen una distribución normal debido a que la significancia es menor a 0.05, por lo que se procedió a usar una prueba no paramétrica.

Tabla 28. Test de normalidad de Shapiro - Wilk del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de Floculante de polímero aniónico

Prueba de Shapiro - Wilk		
Estadístico	Grados de libertad	Significancia
0.788	15	0.003

En la tabla 29 se muestran los resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis, en donde se observa el valor del estadístico H, que para 4 grados de libertad fue de 12.746. Además, se observa también que la significancia es menor a 0.05, por lo que existen diferencias significativas entre los tratamientos que se han evaluado. Razón por la cual se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que la concentración de floculante aniónico influye en la disminución de la turbidez de los efluentes líquidos de una fábrica de conservas de pescado.

Tabla 29. Prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis del porcentaje de disminución de Turbidez para diversas concentraciones de Floculante de polímero aniónico

Estadísticos de prueba	
	% de disminución Floculante aniónico
H de Kruskal - Wallis	12.746
Grados de libertad	4
Significancia asintótica	0.013

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

En cuanto a la utilización del coagulante FeCl_3 utilizado para reducir la turbidez del agua residual de una industria de conservas de pescado, cuyas aguas tuvieron una turbidez inicial de 2992 NTU; y manteniendo la concentración del floculante aniónico con un valor constante de 60 ppm, para las dosis consideradas en el tratamiento se obtuvo el valor más bajo de la turbidez a la concentración de coagulante de 2400 ppm, con un valor promedio de la turbidez de 25.0 NTU, lo que corresponde a un 99.20 % de disminución de la turbidez presente en el agua residual. Este valor de disminución se aproxima a lo encontrado por Guillén et al. (2021), quien logró una disminución de 89 % utilizando FeCl_3 y un floculante de polímero catiónico, pero partiendo de una turbidez inicial de 526,96 NTU. Un valor similar lo obtuvo Puma (2020), quien, con el mismo coagulante, obtuvo 97,87 % de turbidez al tratar efluentes de servicios de comida. Con respecto al pH del agua residual tratada con FeCl_3 , Rana y Suresh (2017), afirman que este coagulante es eficiente a un rango de pH de 4 y a una dosis óptima de 4 g/L (4000 ppm), pero que esto está referido a aguas residuales de la industria textil.

De acuerdo con los análisis estadísticos, se tiene una media del porcentaje de disminución de 94.6095 % con un intervalo de confianza del 95 %, para la totalidad de las dosis de los tratamientos con FeCl_3 , siendo el valor mínimo de 70.20 % y el máximo de 99.20 %. Así mismo, de acuerdo con el test de comparaciones múltiples de Duncan, se observa que las dosis del coagulante FeCl_3 que van desde 2000 ppm hasta 2700 ppm están en la misma columna, por lo que estas dosis están teniendo el mismo efecto sobre la disminución de la turbidez; observando que ocurre lo mismo con el grupo de dosis que van desde 2200 ppm hasta 3300 ppm. Cada uno de estos

grupos de tratamientos están teniendo el mismo efecto sobre el porcentaje de disminución, por lo que al momento de decidir cuál podría ser el tratamiento seleccionado se deben tener en cuenta factores como la economía, debido a que a mayor dosis utilizada será mayor la cantidad de reactivo utilizado. Sin embargo, se puede optar por la dosis de 2400 ppm, que es una concentración intermedia entre ambos grupos de comparación, además de corresponder al mayor porcentaje de disminución.

En lo que se refiere al coagulante policloruro de aluminio (PAC) utilizado para reducir la turbidez del agua residual de una industria de conservas de pescado, las cuales tuvieron una turbidez inicial de 2928 NTU para este tratamiento; y manteniendo la concentración del floculante aniónico con un valor constante de 60 ppm, para las dosis consideradas en el tratamiento se obtuvo el valor más bajo de la turbidez a la concentración de coagulante de 3300 ppm, con un valor promedio de la turbidez de 22.6 NTU, lo que corresponde a un 99.2 % de disminución de la turbidez presente en el agua residual. Esta concentración de 3300 ppm es muy próxima al valor óptimo encontrado por Rodríguez-Díaz et al. (2019), de 3936 ppm; quienes, además, consideran al PAC como una excelente opción para el post tratamiento de efluentes industriales de la producción de palma de aceite. En cuanto al porcentaje de disminución de turbidez obtenido es muy cercano al obtenido por Cevallos et al. (2022), quienes obtuvieron un porcentaje de disminución de turbidez de 99.59 % para aguas residuales generadas en la producción de harina de pescado, siendo este tipo de vertientes muy similares a los utilizados en la presente investigación. Se puede comparar la efectividad de disminución de turbidez del policloruro de aluminio con otro tipo de aguas residuales, podemos compararlo con lo obtenido por Gómez et al. (2022), quienes, al tratar aguas residuales de una industria de comunicación gráfica

usando PAC como coagulante, lograron remover el 92.29 % de la turbidez a partir de un valor inicial de 140 NTU.

De acuerdo con los análisis estadísticos, se tiene una media del porcentaje de disminución de 91.5143 % con un intervalo de confianza del 95 %, para la totalidad de las dosis de los tratamientos con PAC, siendo el valor mínimo de 54.70 % y el máximo de 99.20 %. Así mismo, de acuerdo con la prueba estadística de comparaciones múltiples de Duncan, se observa que las dosis del coagulante PAC de 2000 ppm y 2200 ppm están en la misma columna, por lo que estas dosis están teniendo el mismo efecto sobre la disminución de la turbidez; observando que ocurre lo mismo con el grupo de dosis de 2400 ppm y 2700 ppm. Cada uno de estos grupos de tratamientos están teniendo el mismo efecto sobre el porcentaje de disminución, por lo que al momento de decidir cuál podría ser el tratamiento seleccionado se deben tener en cuenta factores como la economía, debido a que, a mayor dosis utilizada será mayor la cantidad de reactivo utilizado. Sin embargo, se puede optar por la dosis de 3300 ppm, que es la concentración que corresponde al mayor porcentaje de disminución de turbidez, que en comparación con la dosis de 2400 ppm tendría 1 % más de eficiencia.

En cuanto a la comparación de los dos coagulantes empleados, como son el FeCl_3 y PAC ayudados con el floculante aniónico, se observa que con ambos se llega al mismo porcentaje de disminución. Sin embargo, se debe tener en cuenta estos porcentajes de disminución se alcanzan a concentraciones distintas de los mismos (2400 ppm para el FeCl_3 y 3300 ppm para el PAC), ya que haciendo la comparación entre ambos colorantes a la concentración de 2400 ppm observamos que la eficiencia del PAC (98.2 %) es menor que la del FeCl_3 (99.2 %). En contraste con esto, Bakar y Halim (2013), demostraron que el PAC era comparativamente más eficiente que el

FeCl₃, en las condiciones óptimas definidas del experimento ayudado por la poliacrilamida aniónica produjo una mayor eliminación de la demanda química de oxígeno, de los sólidos suspendidos totales y de los metales pesados en comparación para el tratamiento de las aguas residuales de la automoción.

Con respecto a los porcentajes de mezcla de los coagulantes FeCl₃/PAC que se emplearon para reducir la turbidez del agua residual de una industria de conservas de pescado, las cuales tuvieron un valor inicial de turbidez de 3016 NTU para este tratamiento; y manteniendo la concentración del floculante aniónico con un valor constante de 60 ppm, para las dosis consideradas en el tratamiento se obtuvo el valor más bajo de la turbidez al porcentaje de mezcla de 90 % de FeCl₃/PAC, con un valor promedio de la turbidez de 74.7 NTU, lo que corresponde a un 97.5 % de disminución de la turbidez presente en el agua de desecho de la industria de conservas de pescado. Este porcentaje de disminución de 97.5 % utilizando la mezcla entre el FeCl₃ y PAC, se aproxima al encontrado por Yanza-López et al. (2019), de 80.2 %; sin embargo, se debe tener en cuenta que el tratamiento fue aplicado en la potabilización de agua para abastecimiento proveniente de un páramo. La utilización de la mezcla entre los coagulantes FeCl₃ y PAC, se justifica con lo afirmado por Fernández et al. (2021), quienes mencionan que el uso de FeCl₃ en combinación con PAC representa una mejor opción técnica en comparación con el PAC como coagulante primario, ya que genera flóculos con mayores velocidades de sedimentación que mejoran la eficiencia de disminución en turbiedad y permiten la optimización de la sedimentación.

De acuerdo con los análisis estadísticos, se tiene una media del porcentaje de disminución de 96.7242 % con un intervalo de confianza del 95 %, para la totalidad de las dosis de los tratamientos con la mezcla entre los coagulantes FeCl₃ y PAC, siendo el valor mínimo de 96.3080 % y el máximo de 97.1405 %. Así mismo, de

acuerdo con la prueba estadística de comparaciones múltiples de Duncan, se observa que las dosis de la mezcla entre los coagulantes FeCl_3 y PAC de 30 %, 40 % y 100 % están en la misma columna, por lo que estas 3 dosis están teniendo el mismo efecto en el porcentaje de remoción de la turbidez; y lo mismo se puede observar para los grupos de dosis de 60 % y 70 % y de 70 %, 80 % y 90 %. Cada uno de estos grupos de tratamientos están teniendo el mismo efecto sobre el porcentaje de remoción, por lo que al momento de decidir cuál podría ser el tratamiento seleccionado se deben tener en cuenta factores como la economía, debido a que a mayor dosis utilizada será mayor la cantidad de reactivo utilizado. Sin embargo, se puede optar por la dosis de mezcla de 80 % entre los coagulantes FeCl_3 y PAC, que es la concentración que corresponde al mayor porcentaje de disminución de turbidez, que en comparación con la dosis de 60 % y 70 % tendría 0.1 % más de eficiencia.

En lo que se refiere a la utilización del floculante aniónico utilizado para reducir la turbidez del agua residual de una industria de conservas de pescado, cuyas aguas tuvieron una turbidez inicial de 3196 NTU; y manteniendo la concentración óptima de la mezcla de los coagulantes FeCl_3 y PAC con un valor constante de 80 %, para las dosis consideradas en el tratamiento se obtuvo el valor más bajo de la turbidez a la concentración del floculante aniónico de 50 ppm, con un valor promedio de la turbidez de 104.6 NTU, lo que corresponde a un 96.7 % de la disminución de la turbidez presente en el agua. Este valor es muy parecido al encontrado por Lourenço et al. (2018), quienes evaluaron el rendimiento de floculantes aniónicos adaptados para ser utilizados en el tratamiento de efluentes lácteos, con una disminución de la turbidez del 95 %. Sin embargo, dicho valor de remoción está por encima de lo encontrado por Grenda et al. (2020), quienes, utilizando un floculante aniónico de origen natural a base de pulpa obtenida a partir de residuos de madera de eucalipto,

redujo la turbidez en el tratamiento de efluentes de la industria textil entre 75–81%. Con base en esto, se puede establecer que los floculantes de polímeros solubles en agua son componentes importantes de las unidades de separación sólido-líquido para el tratamiento de una variedad de efluentes afectados por procesos (Vajihinejad et al., 2019).

En cuanto a los análisis estadísticos, se tiene una media del porcentaje de remoción de 95.2267 % con un intervalo de confianza del 95 %, para la totalidad de las dosis de los tratamientos con el floculante aniónico, siendo el valor mínimo de 94.2100 % y el máximo de 96.2434 %. Así mismo, de acuerdo con la prueba estadística de comparaciones múltiples de Duncan, se observa que las dosis del floculante aniónico que van desde 50 ppm hasta 60 ppm están en la misma columna, por lo que estas dosis están teniendo el mismo efecto sobre la disminución de la turbidez; observando que ocurre lo mismo con el grupo de dosis que van desde 60 ppm hasta 70 ppm. Cada uno de estos grupos de tratamientos están teniendo el mismo efecto sobre el porcentaje de remoción, por lo que al momento de decidir cuál podría ser el tratamiento seleccionado se deben tener en cuenta factores como la economía, debido a que a mayor dosis utilizada será mayor la cantidad del floculante utilizado. Sin embargo, se puede optar por la dosis de 50 ppm, que es la concentración que corresponde al mayor porcentaje de remoción.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El coagulante cloruro férrico (FeCl_3), demuestra ser un coagulante efectivo en la remoción de la turbidez del agua residual de una fábrica de conservas de pescado, siendo la mejor dosis de tratamiento de 2400 ppm, lográndose una remoción de 99.2 %, correspondiente a una dosis de coagulante de 2400 ppm. Para una turbidez inicial de 2992 NTU, manteniendo constante la concentración del coagulante aniónico en 60 ppm y con un tiempo de duración del proceso de coagulación – floculación de 5 minutos cada uno.

El cloruro férrico (FeCl_3) resulta ser más eficiente que el Policloruro de Aluminio (PAC), comparándolos a la misma dosis de tratamiento de 2400 ppm, siendo sus eficiencias de disminución de turbidez de 99.20 % y 98.2 % respectivamente.

La máxima eficiencia obtenida por el coagulante Policloruro de Aluminio (PAC) fue de 99.2 % correspondiente a una dosis de tratamiento de 3300 ppm. Partiendo de una turbidez inicial de 2928 NTU, manteniendo constante la concentración del coagulante aniónico en 60 ppm y con un tiempo de duración del proceso de coagulación – floculación de 5 minutos cada uno.

El porcentaje de remoción utilizando la mezcla entre FeCl_3 y PAC fue de 97.5 %, correspondiente a la mezcla de 80 % de FeCl_3 y PAC. Para una turbidez inicial de 3016 NTU, manteniendo constante la concentración del floculante aniónico en 60 ppm y con un tiempo de duración del proceso de coagulación – floculación de 5 minutos cada uno.

El floculante aniónico utilizado tuvo un mejor rendimiento a la concentración de 50 ppm con un porcentaje de disminución de 96.7 %. Iniciando con una turbidez

inicial de 3196 NTU, manteniendo constante la concentración de la dosis óptima de mezcla de los coagulantes FeCl_3 y PAC en 80 % y con un tiempo de duración del proceso de coagulación – floculación de 5 minutos cada uno.

6.2. Recomendaciones

Se debe optimizar los parámetros de operación del proceso coagulación-floculación, tiempo y velocidad de agitación, para las condiciones óptimas de coagulantes FeCl_3 y PAC, así como para la mejor mezcla de ambos, con el floculante aniónico para la reducción de turbidez de las aguas residuales provenientes de una planta de conservas de pescado.

En investigaciones adicionales se debe evaluar el efecto que tendrían determinados coadyuvantes de coagulación para el FeCl_3 y PAC, tanto de naturaleza orgánica como inorgánica.

Debido al alto costo de los coagulantes comerciales utilizados en el tratamiento de aguas, se debería evaluar el rendimiento de sustancias coagulantes de origen natural provenientes de plantas, animales o microorganismos en aguas residuales de la industria de alimentos en busca de una alternativa más sostenible.

REFERENCIAS

- Aboulhassan, M. A., Souabi, S., Yaacoubi, A., y Baudu, M. (2006). Improvement of paint effluents coagulation using natural and synthetic coagulant aids. 138, 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.05.040>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). (27 abril del 2020). Glosario ambiental bilingüe. EPA en español. <https://espanol.epa.gov/espanol/glosario-ambiental-bilingue>
- APHA (2005) Standard methods for the examination of water and waste water, 21st ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- Azabache, Y., Murrieta, E., Ayala, M., y Caceres, G. (2020). Tratamiento del agua residual de un matadero: Eficiencia del proceso de coagulación-floculación. *Agroindustrial Science*, 10(1), 23–27. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.01.03>
- Bakar, A. F. A., y Halim, A. A. (2013). Treatment of automotive wastewater by coagulation-flocculation using poly-aluminum chloride (PAC), ferric chloride (FeCl₃) and aluminum sulfate (alum). 524-529. <https://doi.org/10.1063/1.4858708>
- Barrera-Díaz, C. E., Balderas-Hernández, P., y Bilyeu, B. (2018). Electrocoagulation: Fundamentals and Prospectives. En *Electrochemical Water and Wastewater Treatment* (pp. 61-76). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813160-2.00003-1>
- Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J., y Ratnayaka, D. D. (2017a). Chemical Storage, Dosing and Control. En *Twort's Water Supply* (pp. 513-552). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100025-0.00012-0>

- Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J., y Ratnayaka, D. D. (2017b). Storage, Clarification and Chemical Treatment. En Twort's Water Supply (pp. 323-366). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100025-0.00008-9>
- Bustíos, C., Martina, M., y Arroyo, R. (2013). Deterioro de la calidad ambiental y la salud en el Perú actual. *Revista Peruana de Epidemiología*, 17(1), 1–9. <https://www.redalyc.org/pdf/2031/203128542001.pdf>
- Cabrera, Xiomara; Fleites, Marisol y Contreras, A. (2009). Estudio del proceso de Coagulación-Floculación de aguas residuales de la empresa textil “Desembarco del Granma” a escala de laboratorio. *Tecnología Química*, XXIX(3), 64–73. <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>
- Casas, G., y Veitía, N. (2008). Aplicación de métodos de comparaciones múltiples en Biotecnología Vegetal. *Biotecnología Vegetal*, 8(2). Recuperado de <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/337/758>
- Castrillón, D., y De los Ángeles, M. (2012). Determinación de la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo B en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de Villa Santana. Universidad Tecnológica de Pereyra. Sitio web de la Universidad Tecnológica de Pereyra: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/3146>
- Cevallos, N., Burgos, G. y Córdova, A. (2022). Evaluación de la eficacia de coagulantes sintéticos y naturales en el tratamiento de aguas residuales generadas en la producción de harina de pescado. 16(2), 54–68. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.6993155>

- Chang, Q. (2016). Electrical Properties. En Colloid and Interface Chemistry for Water Quality Control (pp. 79-136). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809315-3.00007-4>
- Comins Mingol, I. (2016). La Filosofía del Cuidado de la Tierra como Ecosofía. Daimon. Revista Internacional de Filosofía, (67), 133–148. <https://doi.org/https://doi.org/10.6018/201501>
- Contreras, S. (2011). La contaminación heredada: diferentes realidades, distintas soluciones. Lex: Revista de La Facultad de Derecho y Ciencia Política de La Universidad Alas Peruanas, 9(8), 305–318. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21503/lex.v9i8.411>
- Choque-Quispe, D., Choque-Quispe, Y., Solano-Reynoso, A., y Ramos-Pacheco, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. Tecnología Química, 38(2), 298–309. <https://doi.org/10.1590/2224-6185.2018.2>.
- Domínguez G., María (2015). La contaminación ambiental, un tema con compromiso social. Producción + Limpia, 10(1), 9-21. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100001&lng=en&tlng=es.
- Fernández, J., Montenegro, S., Ledezma, C., y Yanza, J. (2021). Sedimentabilidad de partículas floculentas en aguas con alto contenido de color y baja turbiedad, coaguladas con FeCl₃ + PAC versus PAC. TecnoLógicas, 24(51), e1789. <https://doi.org/10.22430/22565337.1789>
- Garzón-Pascagaza, E. J. (2017). ¿Filosofía ambiental? Una propuesta para formar el pensamiento en la relación con el medio ambiente. Foro Por La Vida, 1(ene.-dic.2017), 91–100.

- Gomez, J., Quiroga, C. y Agudelo, R. (2022). Tratamiento de aguas residuales generadas en la industria de comunicación gráfica que emplea impresión tipo “Offset”. Estudio de caso. *INVENTUM*, 17(33), 3–12. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.17.33.2022.3-12>
- Grenda, K., Gamelas, J. A. F., Arnold, J., Cayre, O. J., y Rasteiro, M. G. (2020). Evaluation of Anionic and Cationic Pulp-Based Flocculants with Diverse Lignin Contents for Application in Effluent Treatment From the Textile Industry: Flocculation Monitoring. *Frontiers in Chemistry*, 8. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00005>
- Guillén, M. O., Pérez, V., Quispe, T., Talavera, M. E., y Huamán, F. E. (2021). Tratamiento fisicoquímico de los efluentes del proceso de lavado de lana en una industria textil de Arequipa. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 86(4), 428–438. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i4.312>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. 6ta. edición. McGraw-Hill.
- Johnson, C. (2014). Advances in Pretreatment and Clarification Technologies. En *Comprehensive Water Quality and Purification* (pp. 60-74). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382182-9.00029-3>
- Lourenço, A., Arnold, J., Gamelas, J. A. F., Cayre, O. J., y Rasteiro, M. G. (2018). Anionic Polyelectrolytes Synthesized in an Aromatic-Free-Oils Process for Application as Flocculants in Dairy-Industry-Effluent Treatment. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57(49), 16884-16896. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b03546>

- Ministerio del Ambiente. (2012). Glosario de términos para la gestión ambiental peruana. <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/504.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). ESDA Estudio de Desempeño Ambiental 2003 - 2013. 1–716. Sitio web del Ministerio del Ambiente: http://www.minam.gob.pe/esda/wp-content/uploads/2016/09/estudio_de-desempeno_ambiental_esda_2016.pdf
- Ministerio del Ambiente (2017, 7 junio). Decreto Supremo N° 004–2017-MINAM. Gobierno del Perú. Sitio web del Ministerio del Ambiente: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Moreno, D., Quintero, J., y López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Contactos*, 78, 25–33.
- Muthuraman, G., y Sasikala, S. (2014). Journal of Industrial and Engineering Chemistry Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1727–1731. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.08.023>
- Piñón, F. (2001). Filosofía, eticidad y medio ambiente. *Casa del Tiempo*, 3(34), 6–10.
- Puma, Y. (2020). Evaluación del proceso de coagulación y floculación con mucilago de *Opuntia ficus indica* como adyuvante del FeCl₃ en efluentes de servicios de comida [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11237>
- Ramírez Ríos, A., y Polack Peña, A. M. (2020). Estadística inferencial. Elección de una prueba estadística no paramétrica en investigación científica. *Horizonte de La Ciencia*, 10(19). <https://doi.org/10.26490/uncp.horizonteciencia.2020.19.597>

- Rana, S. y Suresh, S. (2017). Comparison of different Coagulants for Reduction of COD from Textile industry wastewater. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 567–574. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.058>
- Rodriguez, L. y Salvador, Z. (2016). Determinación de dosis óptima de coagulante en función de la turbidez en la unidad multiflo durante temporada de avenidas en planta Huachipa - Sedapal. Sitio web de la Universidad Nacional de Trujillo: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9871>
- Rodríguez-Díaz, Y., Torregroza-Mozo, A., Mejía-Padilla, F., Atencia-Vargas, J. y Villero-González, A. (2019). Eficiencia de la aplicación de policloruro de aluminio en post-tratamiento de aguas industriales en palma de aceite. *Temas Agrarios*, 24(2), 158–169. <https://doi.org/https://doi.org/10.21897/rta.v24i2.2068>
- Tarleton, E. S., y Wakeman, R. J. (2007). Pretreatment of suspensions. En *Solid/Liquid Separation* (pp. 126-151). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-185617421-3/50003-1>
- Torres, L. A. (2013). en la información financiera para la toma de decisiones futuras. La gestión. In *Crescendo*, 4(2), 317–325. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5127619>
- Vajihinejad, V., Gumfekar, S. P., Bazoubandi, B., Rostami Najafabadi, Z., y Soares, J. B. P. (2019). Water Soluble Polymer Flocculants: Synthesis, Characterization, and Performance Assessment. *Macromolecular Materials and Engineering*, 304(2), 1800526. <https://doi.org/10.1002/mame.201800526>
- Veliz, Eliet, Llanes, José Guadalupe, Fernández, Lidia Asela, y Bataller, Mayra. (2016). Coagulación-floculación, filtración y ozonización de agua residual para reutilización en riego agrícola. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(1), 17-34.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000100017&lng=es&tlng=es.

Wang, S., Fu, J., Zhang, C., y Yang, J. (2021). Muck conditioning for EPB shield tunnelling and muck recycling. En *Shield Tunnel Engineering* (pp. 433-490). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823992-6.00009-6>

Yanza-López, J., Rivera-Hernández, R., Gómez-Torres, L., y 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>

ANEXOS

1. Análisis estadístico en R

Figura 13. Promedio de la medición de la Turbidez en R para diferentes concentraciones del coagulante FeCl_3

	Concentración	T1	T2	T3	Promedio
1	3300	30.8	30.0	29.7	30.2
2	3000	27.0	26.5	26.9	26.8
3	2700	25.7	25.4	24.9	25.3
4	2400	25.6	24.5	24.8	25.0
5	2200	30.9	32.2	31.0	31.4
6	2000	33.5	35.7	33.2	34.1
7	1800	56.6	55.3	58.6	56.8
8	1600	70.8	73.2	69.6	71.2
9	1400	89.4	91.3	86.8	89.2
10	1100	148.6	151.0	143.2	147.6
11	800	167.7	180.1	186.5	178.1
12	500	252.1	246.6	241.6	246.8
13	300	407.0	420.1	418.4	415.2
14	100	891.3	875.8	880.9	882.7

Figura 14. Cálculo en el lenguaje R del promedio de los porcentajes de disminución de la Turbidez para diversas concentraciones del coagulante FeCl₃

▲	Concentración	T1	T2	T3	Promedio
1	100	70.21056	70.72861	70.55816	70.5
2	300	86.39706	85.95922	86.01604	86.1
3	500	91.57420	91.75802	91.92513	91.8
4	800	94.39505	93.98061	93.76671	94.0
5	1100	95.03342	94.95321	95.21390	95.1
6	1400	97.01203	96.94853	97.09893	97.0
7	1600	97.63369	97.55348	97.67380	97.6
8	1800	98.10829	98.15174	98.04144	98.1
9	2000	98.88035	98.80682	98.89037	98.9
10	2200	98.96725	98.92380	98.96390	99.0
11	2400	99.14439	99.18115	99.17112	99.2
12	2700	99.14104	99.15107	99.16778	99.2
13	3000	99.09759	99.11430	99.10094	99.1
14	3300	98.97059	98.99733	99.00735	99.0

Figura 15. Resultados estadísticos descriptivos en R del porcentaje de disminución de Turbidez para los tratamientos con el coagulante FeCl₃

	Estadístico
Media	94.604023
Error típico de la Media	1.185703
Intervalo de confianza-Límite inferior	92.280045
Intervalo de confianza-Límite superior	96.928002
Media recortada al 5%	95.638105
Mediana	97.857620
Varianza	59.047493
Desviación típica	7.684237
Mínimo	70.210561
Máximo	99.181150
Rango	28.970588
Amplitud intercuartil	4.906417
Asimetría	-2.290833
Curtosis	7.430311

2. Fotografías de la investigación

Figura 16. Recolección de las muestras



Figura 17. Midiendo la turbidez



Figura 18. Test de Jarras



Figura 19. Tratamiento de las muestras

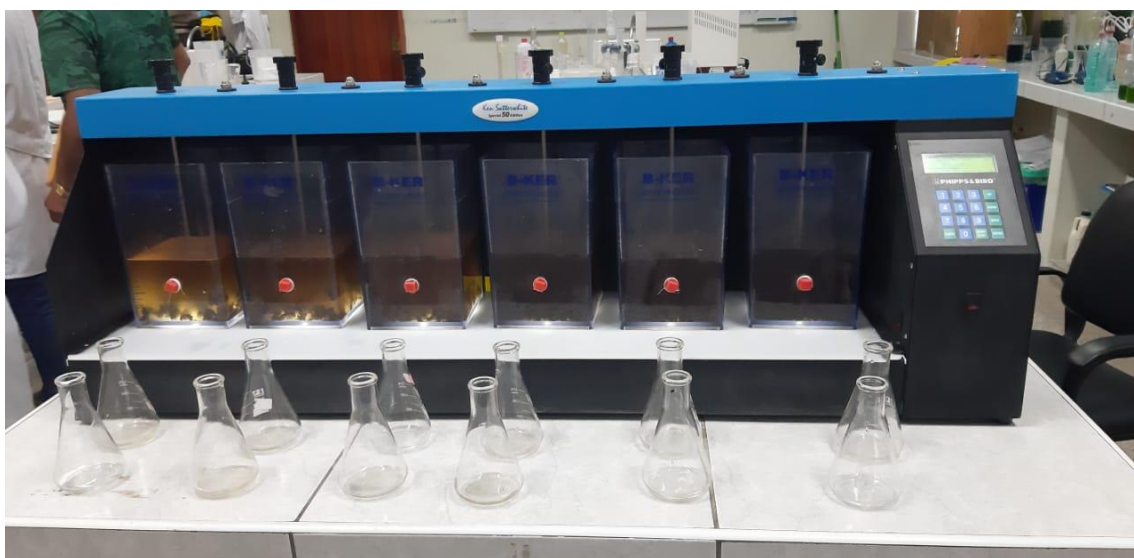


Figura 20. Muestras tratadas



Figura 21. Preparación de las soluciones de coagulantes



Figura 22. Resultados del test de Jarras

