

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica



TESIS

**CAPACIDAD COAGULANTE DEL CLORURO FÉRRICO FRENTE AL
COAGULANTE SULFATO FÉRRICO EN LAS AGUAS RESIDUALES
DE UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS, SANTA MARÍA- HUAURA**

**Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Químico**

Presentado por:

Bach. Christian Kenyi Caruajulca Díaz

Asesor:

Dr. Edgardo Octavio Carreño Cisneros

Huacho – 2022

CAPACIDAD COAGULANTE DEL CLORURO FÉRRICO FRENTE AL COAGULANTE SULFATO FÉRRICO EN LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS, SANTA MARÍA- HUAURA

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.cyclusid.com Fuente de Internet	2%
2	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	1%
3	www.gobiernoygestionpublica.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	pricila.senacyt.gob.pa Fuente de Internet	1%
5	libmast.utm.my Fuente de Internet	1%
6	repositoriosiidca.csuca.org Fuente de Internet	1%
7	www.minem.gob.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Pedagogica y Tecnologica de Colombia Trabajo del estudiante	<1%

Título de la tesis

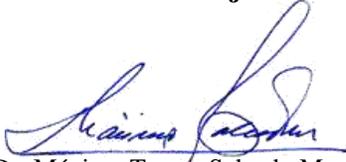
CAPACIDAD COAGULANTE DEL CLORURO FÉRRICO FRENTE AL COAGULANTE SULFATO FÉRRICO EN LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS, SANTA MARÍA- HUAURA



Dr. Edgardo O. Carreño Cisneros
DOCENTE

Asesor de Tesis

Miembros del jurado



Dr. Máximo Tomás Salcedo Meza

Presidente de Jurado



Dr. Victor Raúl Coca Ramírez

Secretario de Jurado



M(o) Jaime Iman Mendoza

Vocal de Jurado

Dedicatoria

Esta tesis se la dedico a mis queridos padres, Aladino y Santa; a mis hermanos José, Janet, Noemi y Cindy; a mis sobrinos Samuel, Misumy, Estrella y Naomi. Gracias a todos por formar parte de mi día a día y por enseñarme a valorar la vida, esto es por ustedes.

Agradecimiento

A mis padres y especialmente a mi madre, quien ha sido la persona que ha dado parte de su vida para que yo pueda alcanzar mis metas y objetivos, siempre estaré en deuda contigo mamá, gracias por todo.

A Vita por apoyarme desde niño y por enseñarme que la pasión y la dedicación es parte fundamental del desarrollo profesional.

Quiero agradecer profundamente al Dr. Edgardo Octavio Carreño Cisneros, quien ha estado conmigo en todo este proceso de investigación y análisis. Su vasta experiencia en el campo me ha ayudado a ampliar mi visión sobre los diferentes métodos de tratamiento de aguas, así mismo su paciencia y orientación me han permitido culminar satisfactoriamente el presente estudio.

Quiero agradecer de forma especial al Ing. Apolinar Quinte Villegas, quien ha sido y es un modelo, tanto profesional como personal y que de forma muy particular me ha ayudado a motivarme para seguir superándome.

Quiero agradecer a la empresa en la que laboro por permitirme explorar y experimentar con las diferentes variables descritas en el presente estudio y sobre todo por brindarme las facilidades con respecto a los datos y resultados, para que estos puedan servir de ayuda en posteriores trabajos de investigación.

INDICE

Título de la tesis

Miembros del jurado

Dedicatoria

Agradecimiento

RESUMEN ix

ABSTRACT x

Introducción xi

CAPÍTULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 12

1.1. Descripción de la realidad problemática. 12

1.2. Formulación del problema. 14

1.2.1. Problema general. 14

1.2.1. Problemas específicos. 14

1.3 Objetivos de la investigación..... 14

1.3.1. Objetivo general..... 14

1.3.2. Objetivos específicos..... 15

1.4. Justificación de la investigación. 15

1.5. Delimitación del estudio. 16

1.6. Viabilidad del estudio..... 16

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 17

2.1. Antecedentes de la investigación. 17

2.2. Bases teóricas. 23

2.3. Bases filosóficas. 31

2.4. Definición de términos básicos. 32

2.5. Hipótesis de investigación. 32

2.5.1. Hipótesis general. 32

2.5.2. Hipótesis específicas. 32

2.6. Operacionalización de las variables. 33

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA 34

3.1. Diseño metodológico.	34
3.2. Población y muestra.	34
3.2.1. Población.	34
3.2.2. Muestra.	34
3.3. Técnicas de recolección de datos.	35
3.4. Técnicas para el procesamiento de la información.	35
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	36
4.1. Análisis resultados.....	36
4.2. Prueba de hipótesis.....	41
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RESULTADOS	42
REFERENCIAS	47
5.1. Fuentes documentales.	47
5.2. Fuentes bibliográficas.	48
5.3. Fuentes hemerográficas.	49
5.4. Fuentes electrónicas.	50

ANEXO.

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de agua residual.	24
Tabla 2. Operaciones Unitarias de tratamiento de aguas residuales	27
Tabla 3. Tratamientos de aguas residuales industriales.	28
Tabla 4. Promedio de las características Físico químicas del agua residual.	36
Tabla 5. Valores promedio del agua cruda y tratada mediante prueba test de jarras.	36
Tabla 6. Análisis descriptivo de los factores del proceso de coagulación.	37

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relaciones entre parámetros. Gómez Rendón. 2013.	25
Figura 2. Diagrama de cajas por tipo de coagulante.	38
Figura 3. Análisis de los efectos principales.	39
Figura 4. Gráfica de interacción.	39
Figura 5. Mapa de contorno; Remoción Turbiedad (%); vs Dosis (ppm); Tipo coagulante.	40

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar la eficiencia de la capacidad coagulante del cloruro férrico frente al coagulante sulfato férrico para remover turbiedad en agua residual de una industria de alimentos, Santa María-Huaura. La investigación es de enfoque cuantitativo, tipo aplicada, nivel explicativo, se pretende que con las técnicas estadísticas y de diseño experimental determinar el mejor coagulante en el tratamiento de agua en la Empresa Redondos, se realizarán mediciones de turbiedad (NTU) haciendo uso de un turbidímetro-Nefelómetro, pH, dosis de coagulantes adicionados (Sulfato Férrico y Cloruro Férrico). considerando para ello, la dosificación (ppm), inicialmente se realizó una prueba de jarras para determinar la dosificación óptima, siendo el porcentaje de remoción a nivel de laboratorio de 96,91% para el cloruro férrico y 96,61% para el sulfato férrico, posteriormente se llevó a escala de planta. Se hicieron uso de pruebas estadísticas paramétricas, t student y de diseños experimentales. Concluyéndose que, no se encontraron diferencias significativas entre la eficiencia de la capacidad de ambos coagulantes para remover turbiedad cuyo porcentaje de remoción a nivel de planta alcanza entre 97,50% y 97,00% aproximadamente.

Palabras Clave: coagulación, floculación, remoción de turbiedad, Turbiedad,

ABSTRACT

The objective of the study was to determine the efficiency of the coagulant capacity of ferric chloride against ferric sulfate coagulant to remove turbidity in wastewater from a food industry, Santa María-Huaura. The research is of a quantitative approach, applied type, explanatory level, it is intended that with statistical techniques and experimental design determine the best coagulant in the water treatment in the Redondos Company, turbidity measurements (NTU) will be made using a Turbidimeter-Nephelometer, pH, dose of added coagulants (Ferric Sulfate and Ferric Chloride). Considering for this, the dosage (ppm), initially a jar test was carried out to determine the optimal dosage, being the percentage of removal at the laboratory level of 96.91% for ferric chloride and 96.61% for ferric sulfate. , later it was taken to plant scale. Parametric statistical tests, t student and experimental designs were used. Concluding that, no significant differences were found between the efficiency of the capacity of both coagulants to remove turbidity whose percentage of removal at the plant level reaches between 97.50% and 97.00% approximately.

Keywords: coagulation, flocculation, removal of turbidity, Turbidity,

INTRODUCCIÓN

La presencia de sólidos disueltos, materia orgánica y otras materias suspendidas en el agua originan la turbiedad y muchas veces la contaminación (Galvin, 2003), dichos componentes provienen de diversas fuentes, como es el caso de las aguas residuales provenientes de las industrias de alimentos. Para eliminar estas impurezas se requiere de sales o compuestos químicos, entre los que podemos destacar el cloruro férrico y sulfato férrico, que ayuden al proceso de floculación-coagulación, a fin de desestabilizar y posteriormente aglutinar partículas para luego ser separadas por sedimentación, filtración o flotación, en ese sentido el estudio pretende determinar la eficiencia de la capacidad coagulante del cloruro férrico frente al coagulante sulfato férrico para remover turbiedad en agua residual de una industria de alimentos, Santa María-Huaura.

Con base a lo mencionado el estudio surge ante la necesidad de la empresa Redondos S.A. de adecuar sus descargas de efluentes a los parámetros máximos admisibles según la normativa vigente, y de poder reutilizar de manera responsable las aguas residuales tratadas obtenidas de su planta de tratamiento de aguas residuales (PTARI), requiriéndose para ello conocer las dosificaciones óptimas de los productos químicos.

Así mismo, el resultado final del estudio constituiría una solución a la problemática de contaminación ambiental por aguas residuales y al aprovechamiento de estas en la empresa Redondos S.A.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática.

La demanda de agua dulce se viene incrementado exponencialmente a consecuencia del incremento de la población humana, industrialización y las actividades domésticas, las mismas que vienen generando una gran cantidad de aguas residuales contaminadas. Actualmente las aguas usadas para la industria se ven afectadas por las características del ambiente donde se ven influenciadas, incorporándose en ella materia orgánica, turbiedad, etc.

Para la producción primaria de alimentos se requieren grandes cantidades de agua, se estima que en todo el mundo es tratada hasta un 90% del agua natural para este fin (Wahlquis, 2009; Wujie et al. 2011, citado por Carrasquero, 2016)

En la actualidad se viene tomando conciencia sobre la importancia de atenuar los impactos ambientales originados por las descargas de aguas residuales contaminadas; es así como la normativa vigente a nivel nacional exige que los diversos proyectos de inversión (industrias) cumplan con ciertos parámetros de calidad con respecto a sus descargas, estos parámetros pueden ser denominados Estándares de Calidad Ambiental (ECA), etc. dependiendo el tipo de evaluación a realizarse.

En ese sentido la EMPRESA REDONDOS S.A., con el fin de atenuar el deterioro ambiental generados por sus aguas de los residuos de planta y de impulsar la reutilización

del recurso hídrico, ha implementado una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTARI) para los efluentes generados en sus Plantas de Procesamiento. Para ello, se han realizado diversos estudios de caracterización de la calidad de los efluentes, así como mediciones de caudal para decidir el tratamiento adecuado para el cumplimiento de estos objetivos. Es así que se ha implementado en la PTARI una infraestructura de tratamiento de aguas residuales que consta de tres (03) etapas, tratamiento primario, secundario y terciario.

Actualmente solo se tiene operativa la etapa del tratamiento primario y es preciso mencionar que esta etapa permite alcanzar una calidad de agua residual que cumple con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para ser liberadas a la red de alcantarillado sanitario, según lo establecido en el D.S. N°010-2019-VIVIENDA. Esta etapa consta de una cámara de bombeo, un filtro rotatorio, un tanque equalizador, una tubería floculadora y una celda de flotación DAF, y es en las dos últimas etapas donde actúan las reacciones químicas del tratamiento. Los productos químicos empleados en el tratamiento cumplen la función de coagulación, neutralización y floculación de las partículas concurrentes en las aguas residuales.

Por ello, es necesario evaluar de forma periódica las sales metálicas utilizadas de los diferentes productos como coagulantes químicos que ofrece el mercado a fin de asegurar la calidad del agua residual tratada y al mismo tiempo optimizar su aplicación.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Existen diferencias significativas entre la eficiencia de la capacidad coagulante del cloruro férrico frente al coagulante sulfato férrico para remover turbiedad en agua residual de una industria de alimentos, Santa María-Huaura?

1.2.2 Problemas específicos Seleccionar la materia prima más idónea

- ¿Es posible el establecimiento de la dosis óptima del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos?
- ¿Es posible la determinación de la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos?
- ¿Es posible el establecimiento de la dosis óptima del coagulante sulfato férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos?
- ¿Es posible la determinación de la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante sulfato férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general

- Determinar la eficiencia de la capacidad coagulante del cloruro férrico frente al coagulante sulfato férrico para remover turbiedad en agua residual de una industria de alimentos, Santa María-Huaura.

1.3.2 Objetivos específicos

- Establecer la dosis óptima del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos.
- Determinar la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos
- Establecer la dosis óptima del coagulante sulfato de férrico en agua residual de una industria de alimentos
- Determinar la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante sulfato férrico en agua residual de una industria de alimentos.

1.4 Justificación de la investigación

La presente investigación nace de la necesidad de la empresa Redondos S.A. de adecuar sus descargas de efluentes a los VMA según la normativa vigente, y de poder reutilizar de manera responsable las aguas residuales tratadas obtenidas de su PTARI. El estudio permitirá determinar el coagulante óptimo para el tratamiento y su dosificación correspondiente. Los resultados permitirán la “optimización de los costos y procesos de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales, por lo que la investigación será un aporte de eficiencia a la industria” (Vielman, 2019).

Así mismo, el resultado final del estudio constituiría una solución al problema de contaminación ambiental por aguas residuales y al aprovechamiento de estas en la empresa Redondos S.A.

1.5 Delimitación del estudio

El estudio se realizó en las instalaciones de la Planta PTARI de la empresa Redondos S.A, ubicado en el Departamento de Lima, provincia de Huaura, Distrito de Santa María.

1.6 Viabilidad de estudio

Se cuenta con disponibilidad de recursos humanos, financiamiento, acceso a la infraestructura (PTARI) donde se realizará el estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Internacionales

2.1.1 Investigaciones internacionales

Vielman (2019), en su estudio titulado: “Determinación del ph óptimo de coagulación, mediante los coagulantes sulfato de aluminio y sulfato ferroso de las aguas residuales de una industria de alimentos”. El objetivo de la investigación fue determinar el pH óptimo de coagulación para el tratamiento de aguas residuales de una industria de alimentos. En el aspecto metodológico se usaron muestras de aguas residuales de la industria de alimentos de harina de trigo. Se empleó la prueba de jarras, para medir la evaluar y caracterizar la eficiencia de la floculación. Se determinó a turbidez y el pH óptimo para la coagulación de ambos compuestos, siendo los parámetros óptimos para sólidos suspendidos menores a 100 mg/L con un pH de 6-9. Para lo cual se usaron distintas concentraciones y pH empleando el óxido de calcio (CaO). Concluyendo que el pH óptimo para la dosis de sulfato de aluminio fue de 6.6 obteniendo una turbiedad de 25,6 NTU y de sólidos suspendidos de 28 miligramos por litro (mg/L) cumpliendo la norma establecida en el acuerdo gubernativo.

Aldana (2018), en su tesis titulada “Comparación de la eficiencia del sulfato de aluminio y el sulfato ferroso en la remoción de sólidos en suspensión en aguas residuales de tipo ordinario”, tuvo como objetivo comparar la eficiencia del sulfato de aluminio y el sulfato ferroso en la remoción de sólidos en suspensión en aguas residuales de tipo ordinario., en la

parte metodológica se utilizó la prueba de jarras para encontrar dosificación óptima y el diseño de experimentos método de superficie de respuesta. Concluyó que el sulfato de aluminio es más eficiente, remueve el 89,0 por ciento de sólidos suspendidos, a una concentración de 50 mg/L.

Vallester, et al. (2020), en su estudio “Evaluación de la eficiencia del coagulante SuperFloc SD 2080 frente al cloruro férrico en procesos de clarificación de agua. En esta evaluación se estudió los coagulantes cloruro férrico y SuperFloc SD 2080”, realizado con el objetivo de comparar su efectividad en los procesos de clarificación de agua. Empleó distintas concentraciones de solución coagulante: 3 ml, 5 ml, 6 ml, 7 ml, 8 ml y 10 ml, coagulación. Usó la prueba de jarras, y la prueba de sedimentación con Cono Imhoff y columna de sedimentación. Para un tiempo estimado de 57 minutos, el porcentaje de remoción del cloruro férrico estuvo alrededor del 83 %, mientras que para el SuperFloc en 37%, siendo el cloruro férrico el más eficiente.

Caicedo-Pineda y Márquez-Godoy (2016), en su estudio “Diferencias entre el uso de sulfato férrico y cloruro férrico en la biodesulfurización de un carbón con tamaño de partícula grueso”. El objetivo fue evaluar tres fuentes de hierro (FeSO_4 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ y FeCl_3) a diferentes concentraciones (150, 700 y 1250 mg Fe/L) en procesos de biodesulfurización de un carbón con tamaño de partícula grueso, utilizando un consorcio de *Acidithiobacillus ferrooxidans* (ATCC 23270) and *Acidithiobacillus thiooxidans* (ATCC 15494). Los ensayos sostenidos empleando FeCl_3 reportaron que la tasa de biooxidación disminuye; se colude que los microorganismos son incapaces de adaptarse adecuadamente con este compuesto.

Medina y Sau (2018), en su estudio “Reutilizar el agua residual doméstica en Hermosillo, sonora, mediante la determinación de las variables pH, turbidez y densidad”. Tuvo como objetivo contribuir a la disminución de la problemática de escasez de agua reutilizando las aguas residuales domésticas. Se emplearon diferentes tipos de floculantes, cloruro ferroso, cloruro férrico, sulfato ferroso y sulfato férrico. Los parámetros a considerar fueron: pH, densidad y la turbidez. El pH es directamente proporcional a la concentración del floculante en estudio. Se encontró que el floculante sulfato férrico es el más eficiente.

Fernández y Herrera (2018), en su estudio “Desarrollo de una propuesta para un sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa inversiones Wamu S.A.S - Pronto aves”. El estudio tuvo como objetivo proponer mejoras para el sistema de tratamiento de aguas residuales; en la parte metodológica elaboró un diagnóstico y evaluación, destacando los parámetros: SST, DBO, DQO, temperatura, pH, grasas y aceites. Se hizo una evaluación a nivel laboratorio para la oxidación, coagulación – floculación y luego la filtración; se usó Hipoclorito de Calcio, Hidroxicloruro de Aluminio, Cloruro Férrico, Sulfato de Aluminio, ASPRE-098 y Poliacrilamida. El coagulante seleccionado fue el Sulfato de Aluminio y ASPRE-098, obteniendo porcentajes de remoción superior al 90% de remoción de turbidez.

Fabara et al. (2019), en su estudio “Alternativas de procesos de coagulación para el tratamiento de aguas residuales, Hospital Docente de Calderón”, cuyo objetivo fue comparar la efectividad del cloruro férrico y del sulfato ferroso, como coagulantes en el tratamiento de aguas residuales del Hospital Docente de Calderón, Ecuador, variando el pH para el caso del cloruro férrico. Se tomó en cuenta la DQO, DBO y turbidez parámetros considerados en la determinación del nivel de contaminación del agua residual y agua tratada. El agua

residual presenta 533,33mg/L de DQO, 235 mg/L de DBO y 35 NTU de turbidez. El resultado de DQO con FeCl_3 alcanzó el 66.24%, con FeSO_4 un 49.37% y $\text{FeCl}_3+\text{FeSO}_4$ con 56.68%, la Turbidez disminuyó con FeCl_3 en 89.28%, FeSO_4 en 86.06% y $\text{FeCl}_3+\text{FeSO}_4$ de 87.64%. Lográndose el mejor resultado con FeCl_3 removiéndose el 79.37% de la DQO. Concluyendo que: los valores de turbidez de 35 NTU valor inicial y en función de los diferentes coagulantes en un (pH 4) de 3,5 NTU con Fenton, en una concentración óptima de 600 ppm; en el Cloruro Férrico de 2,69 NTU, con una concentración de 300 ppm y al final se utilizó un tratamiento híbrido Fenton+ FeCl_3 , en concentraciones de 3 a 7 ppm, consiguiendo una turbidez de 3,1 NTU. Se analizó que dio mejores resultados y eficiencia en la disminución de turbidez, utilizando el coagulante Cloruro Férrico.

2.1.2 Investigaciones nacionales

Tafur (2018), en su estudio “Evaluación del cloruro férrico y sulfato de aluminio, como coagulantes en el proceso de potabilización, en términos de turbidez y potencial de hidrógeno, de las aguas de la quebrada Rumiyaçu, distrito de Moyobamba”. El objetivo fue comparar el sulfato de aluminio y cloruro férrico para la remoción de turbidez; consideró el pH como parámetro base. La dosis óptima para el sulfato de aluminio al 1% es de 1 mL de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ por cada 500 mL de agua, mientras que para el cloruro férrico al 1% es de 6 mL de FeCl_3 por cada 500 mL. Concluyendo el cloruro férrico y sulfato de aluminio, actúan distintamente según el pH y turbidez. El sulfato de aluminio como coagulante y que amortigua la variación pH evitando la acidez y logrando además el 100% de mejora de la turbidez, acorde a los LMP, el cloruro férrico su eficiencia mejora el color del agua.

Quezada (2017), en su estudio “Efecto del proceso de coagulación -Floculación en la turbidez del efluente de agua de bombeo de la Industria Pesquera”. El trabajo de

investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del proceso de coagulación floculación en la turbidez del agua de bombeo de una empresa pesquera, para lograr disminuir la turbiedad y poder contribuir a una posible reutilización en el proceso. Se realizó prueba de jarras en diferentes condiciones: de 120 rpm y 50 rpm de agitación para 5 y 20 minutos respectivamente, tanto para la coagulación -floculación. Concluyéndose que el sulfato férrico y amina cuaternaria actúan sobre la turbidez, mientras que el floculante de tipo aniónico no ejerce efecto considerable sobre la turbidez.

Díaz, et al. (2019), en su investigación “Evaluación de tratamiento químico para aguas residuales provenientes de la elaboración de productos cárnicos” Su objetivo fue evaluar un tratamiento químico mediante adición de coagulante y floculante con el objetivo de disminuir la carga contaminante de las aguas residuales provenientes del proceso de elaboración de productos a partir de carne de cerdo deshuesada. Como marco metodológico empleó las pruebas de Jarras, evaluándose el policloruro de aluminio (PAC) y cloruro férrico conjuntamente con cuatro floculantes comerciales. Para una eficiente remoción se consideró los sólidos suspendidos totales, según método standard (APHA-AWWA-WEF, 2017), concluyéndose que en condiciones óptimas para el tratamiento químico con PAC y cloruro férrico se alcanzan una remoción del 99% para la materia suspendida y 85% a más para la DQO en el agua residual tratada.

Escobedo, Bobadilla, Luján, Espinoza, Rojas, Jacobo y Vílchez (2021), es su investigación titulada “Una Remoción de turbidez de aguas del canal madre de Chavimochic empleando diseño de mezcla de coagulantes: Remoción de turbidez de aguas utilizando sensores de bajo costo” El objetivo fue la formulación de una mezcla de tres coagulantes mediante la metodología del diseño de mezclas reticular simplex aumentado, se empleó coagulantes como: sulfato férrico, amina policuaternaria, policloruro de aluminio y clorhidrato de

aluminio. Se usaron diferentes dosificaron de coagulantes para muestras de 100 mL con 175 NTU, y con distintas dosificaciones (20, 30, 40 y 50 ppm) siendo la mejor concentración la de 40 ppm. La optimización de los resultados al 96,45% de remoción sugiere trabajar con concentraciones de 9,14 ppm, 3,38 ppm y 27,49 ppm de sulfato férrico, policloruro y clorhidrato de aluminio respectivamente. Concluyendo que con el sulfato férrico a 9,14 ppm se logra una remoción del 96,45% .

2.2 Bases teóricas

Tal como lo manifiesta Beron (2011), de otra parte, Semmens et al (1980); Childress et al (1999) and Bell et al (2000), mediante estudios a escala piloto y real encontraron que las condiciones requeridas para quitar turbiedad varia considerablemente según la materia orgánica. Siendo los compuestos orgánicos los que coincidieron con buenas remociones de turbiedad (p. 2).

Aguas residuales.

Son aquellas cuya procedencia deviene luego de su uso en alguna actividad, ya sea doméstica, procedente de la industria o comunitarias. Estas generalmente tienen contacto con otros líquidos o sólidos, (Rolim Mendonca, 2000).

Rolim (2000), refiere que se consideran aguas residuales aquellas que provienen del uso abastecimiento, luego de haber tenido contacto o que han sufrido modificación por el uso de diferentes actividades domésticas, del uso de la industria y comunal.

En ese sentido Arocutipa (2013), indica que aguas residuales también conocidas como servidas o aguas negras, por haber sido usadas, pueden originarse de diversas formas por el uso que se le de al agua: doméstico o industrial; y muchas veces se les conoce como negras por su color, estás muchas veces son conducidas mediante el alcantarillado, sin que se brinde un tratamiento posterior a su uso.

Tipos de agua residual.

Según Romero R. J. (2001), citado por Arocutipa (2013), las características del contaminante, en tabla 1, se pueden denominar de las siguientes maneras:

Tabla 1

Tipos de agua residual.

Tipos de agua	Definición	Características.
Agua residual doméstica	Originadas por las diferentes actividades en las viviendas, escuelas, etc.	Los contaminantes están presentes en moderadas concentraciones
Agua residual municipal	Son transportados por el alcantarillado de una ciudad o población	Contiene materia orgánica, nutrientes y patógenos, etc.
Agua residual industrial	Las resultantes de las descargas de industrias	Su contenido depende del tipo de industria Y/o procesos industriales
Agua negra	Contiene orina y heces	Elevado contenido de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos farmacéuticos
Agua amarilla	Es la orina transportada con o sin agua	Alto contenido de nutrientes, hormonas y alta concentración de sales
Agua café	Agua con pequeña cantidad de heces y orina	Alto contenido de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos
Agua gris	Provenientes de lavamanos, duchas, lavadoras	Tienen pocos nutrientes y agentes patógenos, por el contrario, presentan máxima carga de productos y detergentes

Fuente: Romero R. J. (2001), citado por Arocutipa (2013)

Agua residual doméstica.

El ser humano en su vida cotidiana genera aguas residuales las mismas que contiene mezclas en diferentes concentraciones, las mismas que se ven en magnitud en base al ambiente o entorno donde se le usa, es así como lo manifiesta Czysz, y otros (1984, p. 10) quién indica que las aguas residuales contienen sedimentos, excrementos, residuos orgánicos, los mismos

que generan una coloración gris amarillento de aspecto turbio. En ese sentido es necesario agregar que el agua servida también contiene micropartículas de plástico.

Constituyente del agua residual.

Gómez (2013), las actividades de tratamiento dependen de diversos factores: el tratamiento de indican que los aspectos Físicos-químicos y biológicos constituyen o están presentes en el agua residual y están interrelacionados, sus concentraciones determinan el tipo de diseño y operación del sistema de tratamiento y Ramalho en se sentido manifiesta que los factores que influyen tenemos: la peculiaridad del agua residual; características del agua efluente de salida; el costo y existencia de terrenos, (2009, p. 91).

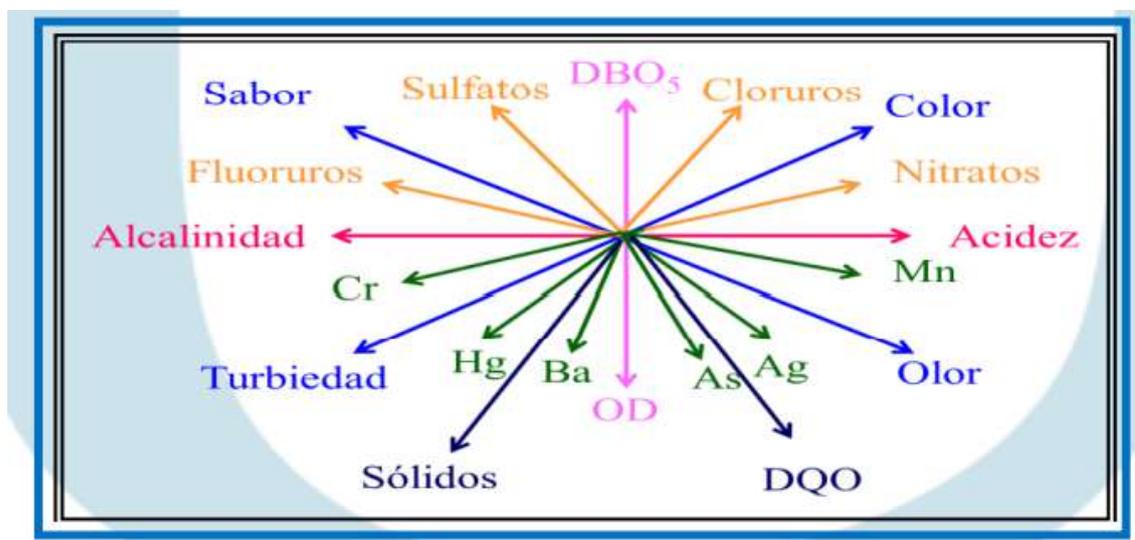


Figura 1. Relaciones entre parámetros. Gómez Rendón. 2013

Agua residual industrial agrícola.

En cada uno de los procesos de la industria avícola se observan que diversos residuos tienen contacto con el agua, como agua-sangre, plumas, residuos de lavado de vísceras, congelados, etc. las mismas que en su vertiente final requieren un tratamiento ya sea para verterlas a ortos efluentes o para la reutilización de la misma. Es así que Ambientún (2002) citado por Fernández y herrera (2018) manifiestan que, en la industria avícola, las aguas pueden ser consideradas domésticas o industriales y que varían según el uso que se les brinde. En las aguas industriales, se caracterizan por la cantidad de grasas, sangre, materia orgánica, entre otras, variando según su manipulación o manejo durante el proceso.

Tratamiento

Según Rodríguez (2006, p. 17), con respecto al tratamiento manifiesta que uno de las variables a considerar es la contaminación del agua, tomando en consideración el tipo de tratamiento químico, las características físicas y los parámetros microbiológicos. Tal como lo señala Rodríguez los aspectos contaminantes fundamentales que debemos considerar están la materia en suspensión, materia coloidal., por lo que debemos considerar que al efluente se le garantice las condiciones necesarias para utilizar dicho elemento.

La depuración de las sustancias sólidas presentes en el agua es importante a fin de prevenir que los agentes contaminantes presentes produzcan inconvenientes como: obstrucciones, abrasión de bombas, desgaste de diferentes materiales, etc. Originando problemas técnicos y de costos en la empresa, por lo que es recomendable que el agua cumpla con la norma correspondiente.

Tabla 2.

Operaciones Unitarias de tratamiento de aguas residuales.

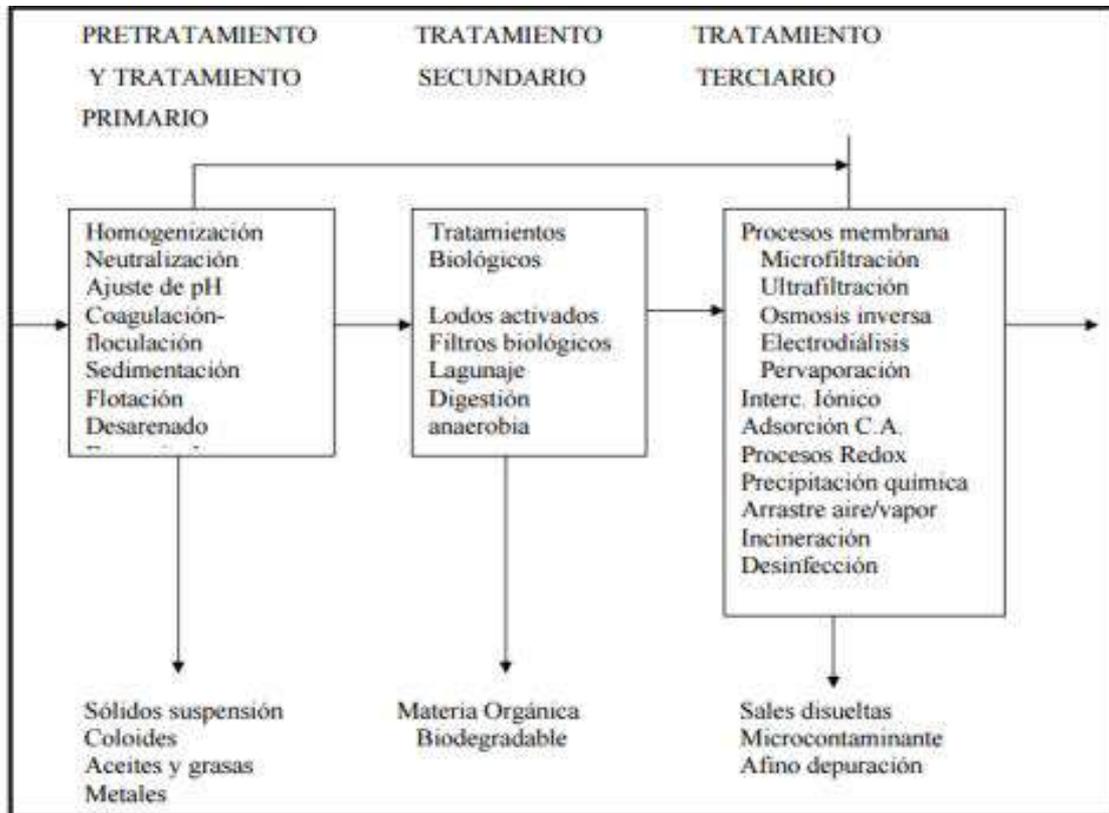
Clasificación de procesos	Proceso	Campo de utilización
Físicos	Desbaste	Eliminación de sólidos grandes, palos, plásticos, textiles
	Sedimentación	Eliminación de sólidos en suspensión.
	Flotación	Eliminación de grasas y aceites.
	Desgasificación (air stripping)	Eliminación de gases.
	Adsorción	Eliminación de compuestos orgánicos, color en carbón activo.
Químicos	Floculación-coagulación	Aplicación de químicos floculantes y coagulantes para eliminar sólidos en suspensión de pequeña dimensión y masa.
	Neutralización	Mejoramiento del pH del agua.
	Oxidación	Remoción de contaminantes químicos especialmente metales pesados
	Intercambio iónico	Remoción de contaminantes químicos especialmente metales pesados.
Biológicos	Sistemas Aeróbicos	Acción metabólica para eliminar sólidos en suspensión y materia orgánica soluble por aireación.
	Sistemas Anaeróbicos	Acción metabólica para eliminar sólidos en suspensión y materia orgánica soluble, producción de biogás.

FUENTE: Torres, G. (2014).

El proceso de separación de partículas sólidas se puede realizar en base a: a). Acción directa de la densidad, usando una simple decantación-sedimentación; b). Filtrado o tamizado. Degremon (1979, p. 60).

Tabla 3.

Tratamientos de aguas residuales industriales.



De Fernández y herrera (2018) . Extraído de: Fats at Your Fingertips. Water Treatment Technologies.Scott Jenkins.

Los Coagulantes en el tratamiento Coagulación-floculación.

Para lograr la desestabilización de sustancias coloidales que producen turbidez es necesario aglomerarlas a fin de lograr partículas de mayor tamaño y por el principio de pesantez (densidad), esto se logra mediante medios artificiales por desestabilización (mediante reactivos químicos) y aglomeración Degremon (1979, p. 61).

Cuando se tratan de partículas muy pequeñas alrededor de 10^{-6} a 10^{-9} μm . son consideradas coloides, por lo que es necesario la remoción mediante reactivos químicos que desestabilicen la suspensión coloidal y posteriormente favorezcan la floculación. El proceso por el cual en estas partículas se produce una desestabilización eléctrica se entiende como coagulación requiriendo para ello adición de sustancias químicas llamadas coagulantes, requiriéndose una mezcla rápida para homogenizar los coagulantes en el menor tiempo. (Rodríguez, 1999).

Esta operación se usa en tratamiento de aguas industriales procedentes de la alimentación, etc. Rodríguez (2006), Rengifo (2019), manifiestan que:

Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa (Fe^{3+} , Al^{3+}) junto con polielectrolitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser favorecer la floculación: **Sales de Fe^{3+} :** Pueden ser Cl_3Fe o $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, con eficacia semejante. Se pueden utilizar tanto en estado sólido como en disoluciones. La utilización de una u otra está en función del anión, si no se desea la presencia de cloruros o sulfatos. **Sales de Al^{3+} :** Suele ser $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ o policloruro de aluminio. En el primer caso es más manejable en disolución, mientras que en el segundo presenta la ventaja de mayor porcentaje en peso de aluminio por kg dosificado. **Polielectrolitos:** Pueden ser polímeros naturales o sintéticos, no iónicos (poliacrilamidas) aniónicos (ácidos poliacrílicos) o catiónicos (polivinilaminas). Las cantidades a dosificar son mucho menores que para las sales, pero tanto la eficacia como el coste es mucho mayor (p. 40).

Según Gray (1996) citado por Domínguez (2010, p. 14) la coagulación se ve influenciada por la carga de las partículas coloidales, donde las de tamaño pequeño tienen carga negativa, mientras que las de carga iguales se repelen. Evitando la agregación de otras partículas grandes para su sedimentación.

En ese sentido Nihon Kasetsu, manifiesta que existen diferentes patrones de coagulantes y floculantes, encontrándose entre ellos una amplia gama, empleados en diversos tipos de aguas residuales

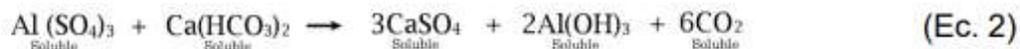
Clasificándose como: inorgánicos y orgánicos:

- a) Los inorgánicos generalmente se componen de **sales metálicas**, de **aluminio** o **hierro** (resaltando los sulfatos de aluminio, cloruro de hierro y sulfato de hierro);
- b) los orgánicos considerados como polímero (polielectrolitos), referido a compuestos macromoleculares, que tienen solubilidad en agua, proceden de manera natural o sintéticos, potencian el proceso de floculación de las diversas partículas suspendidas. Existen coagulantes clasificados como prepolimerizados basados en sales metálicas, como: el **Policloruro de Aluminio (PAC)**, de uso cotidiano el proceso de coagulación-floculación.

Cloruro férrico

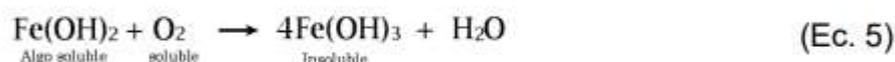
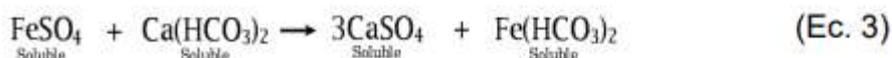
El cloruro férrico es una sal de amplia eficiencia se emplea como un coagulante, actúa en diferentes rangos de pH y temperatura. Genera iones trivalentes de elevado peso molecular, requeridos en su accionar como coagulante, (Zerbatto, Carrera, Eliggi, Modini, Vaira, Noseda, & Abramovich, 2009, p. 19).

Sulfato de aluminio



Fuente: Uzcátegui J, "Parámetros físico – químicos en la calidad del agua", Universidad de los Andes, Mérida – Venezuela, 2003.

Sulfato férrico.



La presencia de CO₂ afecta la solubilidad del Fe(OH)₂, lo cual se contrarresta adicionando cal hidratada así:



Fuente: Uzcátegui J, "Parámetros físico – químicos en la calidad del agua", Universidad de los Andes, Mérida – Venezuela, 2003.

2.3. Bases filosóficas.

La base filosófica de esta investigación se basa es el positivismo de A. Comte (1798-1857), tal como lo manifiesta Icart Isern, Fuentelsaz Gallego, & Pulpón Segura, (2006) quienes indican que el alma humana debe dejar de lado en conocerse la naturaleza del ser mismo, de lo material y complacerse con las verdades que le facilita la observación y la experimentación. Este enfoque del positivismo se aparta de la subjetividad humana y se enfoca a buscar la el análisis de los hechos (verificación empírica) y a la razón de porque ocurren los hechos (causas). Con el fin de obtener nuevas teorías, leyes.

2.4. Definiciones conceptuales

Agua residual: Agua obtenida por el uso comunitario o de una industria, de abundante material orgánico o inorgánico diluido o en suspensión.

Clarificación: Proceso de purificación del agua que consiste en sedimentar partículas del agua residual para luego eliminarlas.

Coagulación. - Determina el fenómeno de desestabilización.

Floculación. - Aglomeración de los coloides desestabilizados debiéndose este proceso en base a la formación de puentes químicos o por propiedades físicas. (Vallester et al 2020).

Turbiedad. Grado de contaminación física del agua (Degremontt, 1979)

Sólidos disueltos totales (SDT): Sustancia orgánica e inorgánica imposible de filtrar, de aproximadamente de un diámetro menor a $1\mu\text{m}$., (Qasim, 1999).

2.5. Hipótesis de investigación

2.5.1 Hipótesis general

- Existen diferencias significativas entre la eficiencia de la capacidad coagulante del cloruro férrico frente al coagulante sulfato férrico para remover turbiedad en agua residual de una industria de alimentos, Santa María-Huaura.

2.5.2 Hipótesis específicas

- Si es posible el establecimiento de la dosis óptima del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos.

- Si es posible la determinación de la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos.
- Si es posible el establecimiento de la dosis óptima del coagulante sulfato férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos.
- Si es posible la determinación de la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante sulfato férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos.

2.6. Operacionalización de las variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
Capacidad coagulante	Coagulante cloruro férrico.	del • Dosis de cloruro férrico	(ppm)
	Coagulante sulfato férrico	del • Dosis de sulfato férrico	(ppm)
Remoción turbiedad	Turbiedad	• Unidades nefelométricas de turbiedad.	(NTU)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

3.1.1. Tipo de investigación.

La investigación es de tipo aplicada, se pretende que con las técnicas estadísticas y de diseño experimental determinar el mejor coagulante en el tratamiento de agua en la Empresa Redondos.

3.1.2. Nivel de investigación

La investigación tiene un nivel explicativo

3.1.3. Enfoque.

El estudio es cuantitativo, se pretende realizar un estudio que permitirá establecer frente al tipo de agua seleccionada, un intervalo de dosis de coagulantes para ser utilizado en las instalaciones de la empresa Redondos S.A. Por lo que, el estudio tendrá una connotación cuasiexperimental, dado que se manipularán las diferentes concentraciones de coagulantes a fin de determinar la dosis óptima mediante pruebas nefelométrica (Turbiedad), para ello se necesitarán de datos cuantitativos de tipo discreto.

3.2. Población y muestra.

La unidad de análisis será la Planta PTARI de la empresa Redondos SA. La Población y muestra será la PTARI, cuyos efluentes provienen de las plantas de procesamiento de aves.

Los criterios a tener en cuenta en el estudio serán:

- Caudal de agua residual.
- pH del agua residual.
- Niveles de turbiedad.

- Facilidades de operación y mantenimiento para la adición de coagulantes químicos.

3.3. Técnicas de recolección de datos.

Observación. Consistirá en registro sistemático de cada uno de los parámetros a considerar antes y después del proceso de floculación, para lo cual se realizarán mediciones de turbiedad (NTU) haciendo uso de un turbidímetro-Nefelómetro, pH, dosis de coagulantes adicionados (Sulfato Férrico y Cloruro Férrico).

3.4. Técnicas para el procesamiento de la Información

En el procesamiento de la información, se ha considerado la calidad de los datos. Para lo cual se realizará una depuración de registros incompletos. Elaborándose posteriormente una base de datos, los que serán tratados o procesados según la variable en estudio, con el fin de garantizar un eficiente análisis e interpretación. Se utilizarán Software y programas específicos, como el Microsoft Excel, el Minitab versión 16. y Stata versión 16. Se harán uso de pruebas estadísticas paramétricas, t student y de diseños experimentales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados

Análisis descriptivo

Tabla 4.

Promedio de las características Físico químicas del agua tratada.

Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M	Resultados
Aceites y Grasas	mg/L	0,48	1,20	<0.48
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	261
Demanda Química de Oxígeno (*)	(mg O2/L)	2,0	5,0	479.45
Nitrógeno amoniacal (*)	(mg-N-NH3/L	0,04	0,10	16.62
Sólidos Sedimentables (*)	mL/L/h	NA	0,1	<0,1
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	27.5

FUENTE: OALAB-Analytical Laboratory E.I.R.L

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, “<”=Menor que el L.C.M

L.D.M.: Límite de detección del método, “<”=Menor que el L.D.M

“-“: No ensayado

NA: No Aplica

Tabla 5.

Valores promedio del agua cruda y tratada mediante prueba test de jarras.

Coagulante	NTU (inicial)	pH	Dosis (ppm)	pH (final)	NTU (final)	Eficiencia %
Cloruro férrico	700	7.1	600	6.44	4.8	99.31
Sulfato férrico	700	7.1	600	6.39	8	98.85

Los análisis de prueba o ensayo de jarras (análisis a nivel de laboratorio) se realizaron a fin de evaluar los coagulantes químicos, observándose que el cloruro férrico (4.8 NTU) muestra una ligera eficiencia en remoción de turbiedad comparado con el sulfato férrico (8 NTU). En cuanto al pH ambos coagulantes muestran valores alrededor de 6.4.

Tabla 6.

Análisis descriptivo de los factores del proceso de coagulación

Tipo de coagulante			Turbiedad NTU (inicial)	Dosis de coagulante (ppm)	Turbiedad NTU (final)	Remoción de turbiedad (%)
Cloruro	N	Válido	20	20	20	20
Férrico		Perdidos	0	0	0	0
		Media	698.00	478.25	21.60	96.91
		Mediana	672.50	461.85	18.00	97.38
		Moda	654	460.41	18,00 ^a	89,91 ^a
		Desv. Desviación	68.566	49.77	13.35	1.95
		Mínimo	595	392.16	8.00	89.91
		Máximo	802	573.84	66.00	98.93
		CV	0.0982	0.1041	0.6181	0.0201
	Percentiles	25	649.25	451.90	14.25	96.44
		75	772.00	511.84	23.00	97.82
Sulfato	N	Válido	20	20	20	20
Férrico		Perdidos	0	0	0	0
		Media	794.05	517.95	26.52	96.61
		Mediana	824.00	468.50	27.00	96.80
		Moda	890	460.00	27,00 ^a	94,53 ^a
		Desv. Desviación	154.509	93.09	7.91	1.07
		Mínimo	490	426.00	8.00	94.53
		Máximo	1057	733.00	41.00	98.37
		CV	0.1946	0.1797	0.2983	0.0111
	Percentiles	25	642.75	457.75	19.76	96.00
		75	900.00	566.25	33.00	97.37

Con respecto al cloruro férrico, en tabla 6, se observa que turbiedad promedio inicial fue de 698,00 NTU; siendo su turbiedad final de 21,60; el porcentaje de remoción de turbiedad del Cloruro férrico fue del 96,91% (1.91); la mediana de 97,38 %. El 25% de los datos muestran una remoción de turbiedad del 96,44% y que el 75% tiene a lo más 97,82%; lo que indica que el 50% de remoción esta entre porcentajes de 96,44 y 97,82% respectivamente. La mediana fue superior a la media lo que indica una posible asimetría negativa.

En cuanto al sulfato férrico, en tabla se observa que turbiedad promedio inicial fue de 794,05 NTU; siendo tu turbiedad final de 26,52; el porcentaje de remoción de turbiedad del Sulfato férrico fue del 96,61% (1.07); la mediana de 96.80 %. El 25% de los datos muestran una remoción de turbiedad del 96,00% y que el 75% tiene a lo más 97,37%; lo que indica que el 50% de remoción esta entre porcentajes de 96,44 y 97,37% respectivamente. La mediana fue superior a la media lo que indica una posible asimetría negativa.

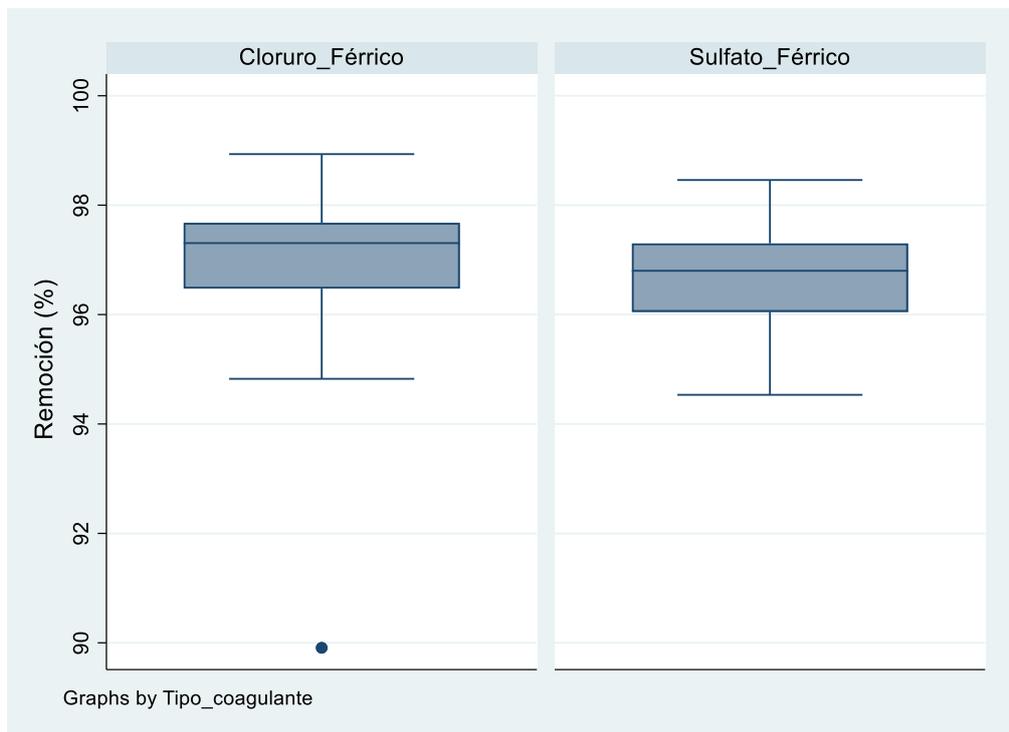


Figura 2. Diagrama de cajas por tipo de coagulante

En figura 2, se muestra el diagrama de cajas y bigote donde observa presencia de un valor atípico en el coagulante cloruro férrico. Así mismo, se aprecia una posible asimetría negativa en ambos coagulantes, lo que indica que los datos se encuentran agrupados a la derecha. Comparando la mediana de ambos coagulantes se aprecia que en el cloruro férrico es ligeramente mayor (97,38%) que la del sulfato férrico (96.80%); lo que nos indica una posible relación en la capacidad coagulante de ambas sustancias.

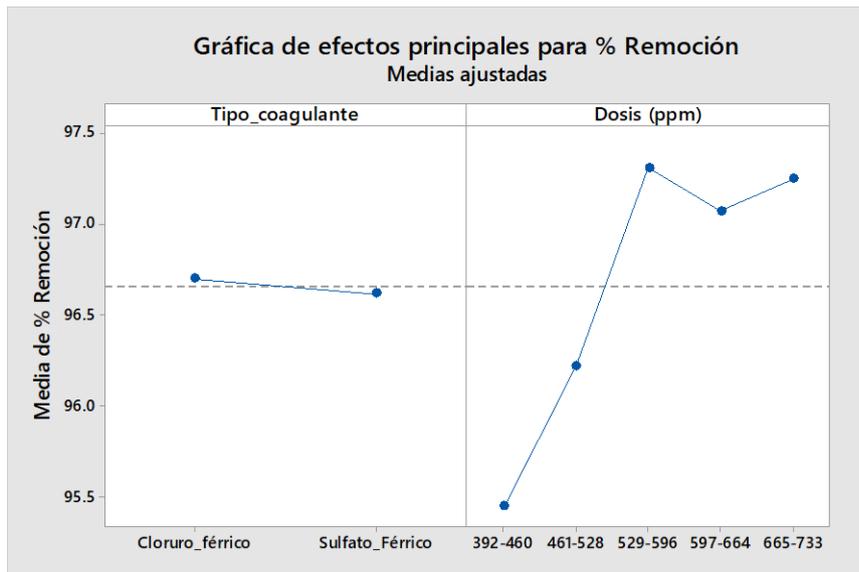


Figura 3. Análisis de los efectos principales.

En figura 3, se aprecian los efectos principales para la remoción de turbiedad donde el cloruro férrico se encuentra arriba de la línea base, observándose que los mejores niveles de remoción se encuentran en dosis de coagulante cuyos valores entre 529 -596 ppm. en cambio, los porcentajes de remoción de sulfato férrico son inferiores a 96.6%,

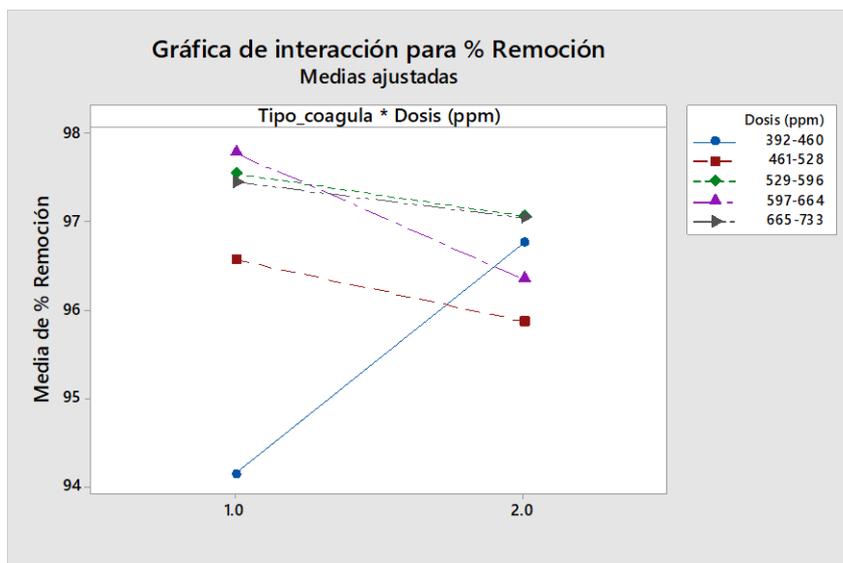


Figura.4. Gráfica de interacción

Se observa que las mejores concentraciones de cloruro férrico (1) van desde 529 a 733 lográndose remociones de turbiedad de aproximadamente 97.4 a 97.7%. En cambio, con el

sulfato férrico (2) los valores de remoción están más dispersos y van de 95.8% a 97.4% para dosificación que fluctúan entre 461 a 733 ppm.

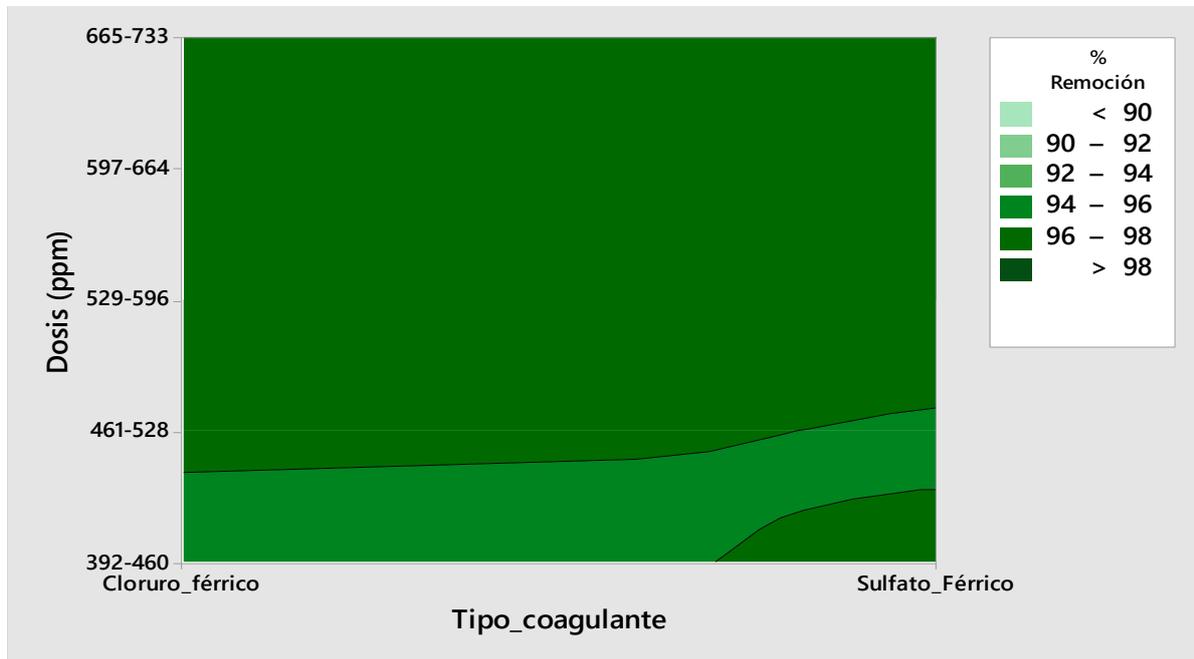


Figura. 5. Mapa de contorno; Remoción Turbiedad (%); vs Dosis (ppm); Tipo coagulante

En figura en mapa de contorno se observa que ambos coagulantes producen valores de remoción de turbiedad cercanos entre sí, observándose una ligera diferencia a favor del cloruro férrico.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Discusión de resultados

Con respecto al objetivo general sobre determinar la eficiencia de la capacidad coagulante del cloruro férrico frente al coagulante sulfato férrico para remover turbiedad en agua residual de una industria de alimentos, Santa María-Huaura, no se encontraron diferencias significativas entre la eficiencia de la capacidad de ambos coagulantes para remover turbiedad. La eficiencia del cloruro férrico fue de 96,91%, mientras que la del sulfato férrico 96,61% aproximadamente, comparado con el estudio de Vallester, et al (2020) quien encontró en su estudio un porcentaje de remoción de turbiedad empleando el cloruro férrico de 83 %. En cuanto al uso de coagulantes según se aprecia en grafico de interacción (figura) y el grafico de contorno (figura) coincide con los resultados de Caicedo-Pineda y Márquez-Godoy (2016), quienes manifiestan que ensayos con las mayores concentraciones de sulfatos obtuvieron un resultado similar, al utilizar $Fe_2(SO_4)_3$ permitió mejor remoción de sulfatos del carbón.

En cuanto al objetivo específico 1, sobre establecer la dosis óptima del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos, se encontró que a medida que se incrementa la dosificación mejora la eficiencia, según se aprecia en gráfico de interacción (figura 4) y el gráfico de contorno (figura 5) estimándose una dosis óptima entre 529 a 733 ppm. los resultados coinciden con los de Caicedo-Pineda y Márquez-Godoy

(2016), quienes manifiestan que ensayos con las mayores concentraciones de sulfatos obtuvieron un resultado similar, al utilizar $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ permitió mejor remoción de sulfatos del carbón y a los de Fabara et al. (2019), en una concentración óptima de 600 ppm; en el Cloruro Férrico de 2,69 NTU.

El objetivo específico 2, determinar la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos, se encontró a nivel de laboratorio que con el cloruro férrico se alcanza una remoción del 99.31% y a nivel de planta de tratamiento se obtuvo 96,91%, similares valores comparados con los resultados de Díaz, et al. (2019). quienes concluyeron que los parámetros operacionales óptimos para el tratamiento químico con PAC y cloruro férrico fueron determinados, obteniendo con los pares coagulante/floculantes seleccionados una remoción de más de 99% para la materia suspendida y más de 85% para la DQO en el agua residual tratada.

El objetivo específico 3, establecer la dosis óptima del coagulante sulfato férrico en agua residual de una industria de alimentos según se aprecia en gráfico de interacción (figura 4) y el gráfico de contorno (figura 5) estimándose una dosis óptima entre 529 a 733 ppm para turbiedades cuyo promedio oscilan en 794 NTU, el mismo procedimiento de Escobedo, Bobadilla, Luján, Espinoza, Rojas, Jacobo y Vílchez (2021), en este caso, para una turbidez de 175 NTU, según el análisis estadístico aplicado, el mayor porcentaje de remoción 96,45% se obtiene con sulfato férrico a 9,14 ppm,

El objetivo específico 4, determinar la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante sulfato férrico en agua residual de una industria de alimentos, se encontró a nivel de laboratorio que con el sulfato férrico se alcanza un 98.85% de remoción y a nivel de planta de tratamiento se obtuvo 96,61%, en ese sentido Medina y Sau (2018) encontraron que el floculante más eficiente para sedimentar sólidos disueltos en el agua es el sulfato férrico, ya que en todas las pruebas se observó que la turbidez es menor de las 100 NTU, siendo esta la menor en comparación del resto; así mismo Fernández y Herrera (2018). donde se escogió el Sulfato de Aluminio y ASPRE-098 como los coagulantes con resultados visualmente eficientes, así como sus respectivas dosificaciones tanto para agentes oxidante, coagulante y floculante. Después de realizar oxidación, coagulación- floculación se lleva a cabo una filtración simple mediante un embudo y papel filtro obteniendo porcentajes de remoción a partir de turbidez superiores al 90%.

5.2 Conclusiones

- Con respecto al objetivo general sobre determinar la eficiencia de la capacidad coagulante del cloruro férrico frente al coagulante sulfato férrico para remover turbiedad en agua residual de una industria de alimentos, Santa María-Huaura, no se encontraron diferencias significativas entre la eficiencia de la capacidad de ambos coagulantes para remover turbiedad cuyo porcentaje de remoción a nivel de planta alcanza entre 96% y 87%.
- En cuanto al objetivo específico 1, sobre establecer la dosis óptima del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos, se encontró que a medida que se incrementa la dosificación mejora la eficiencia, según se aprecia en gráfico de interacción (figura 4.) y el gráfico de contorno (figura 5.) estimándose una dosis óptima entre 529 a 733 ppm.
- El objetivo específico 2, determinar la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos, se encontró a nivel de laboratorio que con el cloruro férrico se alcanza una remoción del 99.31% y a nivel de planta de tratamiento se obtuvo 96,91%.
- El objetivo específico 3, establecer la dosis óptima del coagulante sulfato de férrico en agua residual de una industria de alimentos según se aprecia en gráfico de interacción (figura 4) y el gráfico de contorno (figura 5) estimándose una dosis óptima entre 529 a 733 ppm para turbiedades cuyo promedio oscilan en 794 NTU.
- El objetivo específico 4, determinar la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante sulfato férrico en agua residual de una industria de alimentos, se encontró a nivel de laboratorio que con el sulfato férrico se alcanza un 98.85% de remoción y a nivel de planta de tratamiento se obtuvo 96,61%.

5.3 Recomendaciones

- Realizar una evaluación económica para decidir el tipo de floculante a elegir.
- Precisar los parámetros óptimos de determinación de dosificación de cloruro férrico y su porcentaje de remoción mediante corridas de pruebas de jarras a diferentes dosificaciones teniendo en consideración los tiempos de sedimentación con y sin coagulante y validarla en planta estimándose parámetros según pruebas de jarras y evaluándose en periodos largos.
- Precisar los parámetros óptimos de determinación de dosificación de sulfato férrico y su porcentaje de remoción mediante corridas de pruebas de jarras a diferentes dosificaciones teniendo en consideración los tiempos de sedimentación con y sin coagulante y validarla en planta estimándose parámetros según pruebas de jarras y evaluándose en periodos largos.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS DE INFORMACIÓN

5.1. Fuentes documentales.

- Aldana, L. (2014). Comparación de la eficiencia del sulfato de aluminio y el sulfato ferroso en la remoción de sólidos en suspensión en aguas residuales de tipo ordinario. Tesis, Universidad de San Carlos Guatemala.
- Blazquez, Pamela y Montero, Cecilia. Reutilización de agua en Bahía Blanca Plata 3ra. Cuenca. p.6.
- Berón, F., Idrobo, J., & Latorre, J. (S/f). Optimizacion Del Funcionamiento De Plantas De Potabilizacion De Agua Mediante La Utilizacion De Cloruro Ferrico
- Icart Isern, T., Fuentelsaz Gallego, C., & Pulpón Segura, A. (2006). Elaboración y Presentación de un Proyecto de Investigación y una Tesina. Barcelona: Publicacions I Edicions de la Universitat de Barcelona
- Fabara, D., Acurio, J. J. A., Franco, P. A. M., Jara, R. D., Jonathan, G. T. T. P., Lara, E. A. T., & Estupiñán, C. A. T. (2019). Alternativas de procesos de coagulación para el tratamiento de aguas residuales, Hospital Docente de Calderón, Ecuador.. REV. PERSPECTIVA 20 (4), 2019: 371-379 - ISSN 1996-5389DOI: <https://doi.org/10.33198/rp.v20i2.00050>.
- Gómez Rendón, C. P. (2013). Manejo de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades. (Tesis doctotal). Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Bogotá.
- Medina, E. y Sau, M. (2018). Reutilizar el agua residual doméstica en Hermosillo, Sonora, mediante la determinación de las variables PH, turbidez y densidad. [Tesis para optar el título de Ingeniero Químico. Universidad de Sonora] Recuperada de: <http://hdl.handle.net/20.500.12984/2766>

- Quezada, M. (2017). Efecto del proceso de coagulación-Floculación en la turbidez del efluente de agua de bombeo de la Industria Pesquera. [Universidad Alas Peruanas]. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12990/1724>
- Rengifo García, F. (2019). Sistema primario de tratamiento de aguas residuales industriales- planta de procesamiento de productos cárnicos-Avicola San Fernando, Chorrillos- Lima.
- Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S. and Sanz, J. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. CEIM and Dirección General de Universidades e Investigación. España.
- Torres, G. (2014). Tratamiento de aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros. (Tesis Doctoral, Ingeniería Ambiental y Desalinización. Universidad de la Palmas de Gran Canaria). España. Disponible de: https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/11899/4/0699295_00000_0000.pdf
- Vielman Ramírez, R. E. (2019). Determinación del pH óptimo de coagulación mediante los coagulantes sulfato de aluminio y sulfato ferroso de las aguas residuales de una industria de alimentos. (Licenciatura thesis, Universidad de San Carlos de Guatemala). <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/13788>

5.2. Fuentes bibliográficas.

- Degremont (1979). Manual técnico del agua.
- Galvin, R. M. (2003). Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Madrid: Diaz de Santos.
- Rolim Mendonca, Sergio. (2000). Sistemas de lagunas de estabilización: cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de riego. McGraw Hill. Colombia: Edición única

Rodríguez, Carlos. (1995). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 115 p.

5.3. Fuentes hemerográficas.

Ambientum, El portal profesional del medio ambiente, Clasificación de aguas residuales [En línea]. Disponible en:

https://www.ambientum.com/revista/2002_22/CLS FCCNG1.asp

Arellano, A y Lindao, V. (2019). Efectos de la gestión y la calidad del agua potable en el consumo del agua embotellada. *NOVASINERGIA 2019, Vol. 2, No. 1, diciembre-mayo (15-23)*

Bell-Ajy, Kimberly, LeChevallier, Mark, Abbaszadegan, Morteza, Volk Christian, Ibrahim Eva (2000). Enhanced and Optimized Coagulation for Particulate and microbial Removal American Water Works Service Company, Inc. Research Report.

Carrasquero, S., Ferreira, M., Mezzoni, V., Acosta, R., Marin, J., & Colina, G. (2016). Efectividad del quitosano en la clarificación de aguas para una industria procesadora de alimentos. *Revista de la Facultad de Ingeniería UCV, 31(2), 57-68.*

Childress, Amy., Vrijenhoek, Eric., Menachem Elimelech, Tanaka, Theodore., Beuhler Mark (1999). Particulate and THM Precursor Removal with Ferric Chloride. *Journal of Environmental Engineering November.*

Escobedo, A. E. G., Bobadilla, J. L. M., Luján, H. E. V., Espinoza, R. F. R., Rojas, S. R. C., Jacobo, P. A. L., & Vilchez, S. A. P. (2021). Una Remoción de turbidez de aguas del canal madre de Chavimochic empleando diseño de mezcla de coagulantes: Remoción de turbidez de aguas utilizando sensores de bajo costo. *Revista de investigación científica y tecnológica alpha centauri, 2(3), 60-71*
<https://doi.org/10.47422/ac.v2i3.41>

- Fernández Molina, P. T. y Herrera Escobar, L. M. (2018) Desarrollo de una propuesta para un sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa inversiones Wamu S.A.S - Pronto aves (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11839/6925>.
- Gerardo Andrés, C. P., & Márquez Godoy, M. A. (2016). Diferencias entre el uso de sulfato férrico y cloruro férrico en la biodesulfurización de un carbón con tamaño de partícula grueso. *Dyna*, 83(197), 74. Retrieved from <https://www.proquest.com/scholarly-journals/diferencias-entre-el-uso-de-sulfato-ferrico-y/docview/1802641435/se-2>
- Semmens, M. & Fierd T. (1980) Coagulation: Experiences in organic Removal J. AWWA. USA Vol 72 No 8 pp. 476-483.
- Tafur Bardales, E. H. (2018). Evaluación del cloruro férrico y sulfato de aluminio, como coagulantes en el proceso de potabilización, en términos de turbidez y potencial de hidrógeno, de las aguas de la quebrada Rumiyaçu, distrito de Moyobamba. Disponible <http://hdl.handle.net/11458/3044>
- Vallester, E., Alcedo, A., Bravo, J., Castrjo, K., Herrera, G., Sánchez, M., & Valencia, T. (2020). Evaluación de la eficiencia del coagulante SuperFloc SD 2080 frente al cloruro férrico en procesos de clarificación de agua. *Revista De Iniciación Científica*, 6(2), 67-71. Recuperado de: <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v6.2.2898>
- Zerbatto, M., Carrera, E., Eliggi, M. S., Modini, L., Vaira, S., Noseda, J. C., & Abramovich, B. (2009). Cloruro Férrico para la coagulación optimizada y remoción de enteroparásitos en agua. *Augmdomus*, Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15890>

5.4. Fuentes electrónicas.

Czysz, W., Denne, A., Rump, H., Schneider, W., Staudte, E., Supperl, W., . . . Thomas, S. (mayo de 1984). Manual de Disposición de Aguas Residuales. Berlín: Springer-Verlag. Obtenido de cidbimena desastres web site: http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Mayo2006/pdf/spa/doc10206/doc1_0206-1a.pdf

Díaz Díaz, M. A., Rivas Trasancos, L., Salazar Alemán, D., Teuteló Núñez, R., la Maza Pineda, N., & Sosa Muñoz, C. L. (2019). EVALUACIÓN DE TRATAMIENTO QUÍMICO PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS CÁRNICOS. Revista Centro Azúcar, 46(5), 114–119. Recuperado a partir de http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/193
Http://Mail.Upagu.Edu.Pe/Files_Ojs/Journals/27/Articles/651/Submission/Production_ready/651-133--1-11-20200207.Pdf

Domínguez Amoroch, M. F. (2010). Optimización de la coagulación - floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre - Cajasan. Tesis de Bachiller, Bolivia. Obtenido de <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/848?show=full>

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: Capacidad coagulante del cloruro férrico frente al coagulante sulfato férrico en agua residual de una industria de alimentos, Santa María-Huaura.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
Problema principal	Objetivo general	Hipótesis general	Variable 1 ó independiente: <ul style="list-style-type: none"> Capacidad coagulante Dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> Coagulante del cloruro férrico. Coagulante del sulfato férrico 	<ul style="list-style-type: none"> Dosis de cloruro férrico (ppm) 	Población: Muestra: Está constituida por la PTAR de la empresa Redondos S.A., por donde fluyen los volúmenes de agua residual para el proceso de tratamiento respectivo. Nivel de investigación: Explicativa de tipo longitudinal Tipo de Investigación: Inv Aplicada Método de investigación Experimental Diseño: Cuantitativo Estadístico de prueba: T student. Diseño Experimental factorial Instrumentos: Nefelómetro.
¿Existen diferencias significativas entre la eficiencia de la capacidad coagulante del cloruro férrico frente al coagulante sulfato férrico para remover turbiedad en agua residual de una industria de alimentos, Santa María-Huaura?	Determinar la eficiencia de la capacidad coagulante del cloruro férrico frente al coagulante sulfato férrico para remover turbiedad en agua residual de una industria de alimentos, Santa María-Huaura.	Existen diferencias significativas entre la eficiencia de la capacidad coagulante del cloruro férrico frente al coagulante sulfato férrico para remover turbiedad en agua residual de una industria de alimentos, Santa María-Huaura.			
Problemas secundarios	Objetivos específicos	Hipótesis secundarias			
a) ¿Es posible el establecimiento de la dosis óptima del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos?	a) Establecer la dosis óptima del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos.	a) Si es posible el establecimiento de la dosis óptima del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos			
b) ¿Es posible la determinación de la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos?	b) Determinar la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos	b) Si es posible la determinación de la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante cloruro férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos	Variable 2 ó dependiente: Turbiedad Dimensiones: <ul style="list-style-type: none"> Unidades nefelométricas de turbiedad. 	Turbiedad (NTU)	
c) ¿Es posible el establecimiento de la dosis óptima del coagulante sulfato férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos?	c) Establecer la dosis óptima del coagulante sulfato de férrico en agua residual de una industria de alimentos.	c) Si es posible el establecimiento de la dosis óptima del coagulante sulfato férrico (Ferrosol en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos).			
¿Es posible la determinación de la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante sulfato férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos?	d). Determinar la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante sulfato férrico en agua residual de una industria de alimentos	d) Si es posible la determinación de la capacidad de remoción de turbiedad del coagulante sulfato férrico en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos?			