



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

**EFICIENCIA DEL CLORURO FERRICO Y CASCARA DE MARACUYÁ EN LA  
REMOCIÓN DE DQO, DBO Y TURBIEDAD EN AGUAS RESIDUALES  
DOMESTICAS, 2023**

**Línea de investigación:**

**Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autora:**

Ayala Quispe, Andrea Josselyn

**Asesor:**

Ahuber Omar, Vásquez Aranda

ORCID: 0000-0001-9834-8184

**Jurado:**

Alva Velásquez, Miguel

Aylas Humareda, Maria del Carmen

Osorio Rojas, Eberardo Antonio

**Lima - Perú**

**2024**



# EFICIENCIA DEL CLORURO FERRICO Y CASCARA DE MARACUYÁ EN LA REMOCIÓN DE DQO, DBO Y TURBIEDAD EN AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS, 2023.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

28%

INDICE DE SIMILITUD

28%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	6%
2	<a href="https://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	4%
3	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	3%
4	<a href="http://www.virtualpro.co">www.virtualpro.co</a> Fuente de Internet	2%
5	<a href="https://repositorio.ucsg.edu.ec">repositorio.ucsg.edu.ec</a> Fuente de Internet	2%
6	<a href="https://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://www.eumed.net">www.eumed.net</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

EFICIENCIA DEL CLORURO FERRICO Y CASCARA DE MARACUYÁ EN LA  
REMOCIÓN DE DQO, DBO Y TURBIEDAD EN AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS,

2023

**Línea de Investigación:**

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autora:**

Ayala Quispe, Andrea Josselyn

**Asesor:**

Ahuber Omar, Vásquez Aranda

ORCID 0000-0001-9834-8184

**Jurado:**

Alva Velásquez, Miguel

Aylas Humareda, Maria del Carmen

Osorio Rojas, Eberardo Antonio

**Lima - Perú**

**2024**

### **Dedicatoria**

A Dios, por haberme dado las fuerzas necesarias para culminar con este proyecto en el tiempo propuesto.

A mi madre: Aydee, que a pesar de la distancia siempre he recibido su constante apoyo a lo largo de mi educación y en esta nueva etapa de mi vida.

A mis hermanos, Jessica, Marilyn y Danny, por sus palabras de aliento, por el apoyo mutuo, y por acompañarme en cada paso de este arduo camino.

A mi tía Maria, por sus consejos y por motivarme en todo momento a alcanzar mis metas.

**Agradecimiento:**

A mi alma mater, la Universidad Nacional Federico Villarreal, por permitirme realizar los análisis de laboratorio en la facultad de FIGAE y poder culminar con mi proyecto de investigación.

A mi asesor, el Mg. Ahuber Omar, Vásquez Aranda, por la orientación, asesoramiento y apoyo constante para llevar a cabo esta investigación.

## ÍNDICE

<b>Resumen.....</b>	<b>10</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>11</b>
<b>I. Introducción.....</b>	<b>12</b>
1.1 Descripción y formulación del problema.....	12
1.1.1 Descripción del problema.....	12
1.1.2 Formulación del problema.....	13
1.1.2.1 Problema General.....	13
1.1.2.2 Problemas Específicos.....	13
1.2 Antecedentes.....	14
1.2.1 Antecedentes Internacionales.....	14
1.2.2 Antecedentes Nacionales.....	16
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo General.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
1.4 Justificación.....	20
1.5 Hipótesis.....	21
1.5.1 Hipótesis General.....	21
1.5.2 Hipótesis Específicas.....	21
<b>II. Marco Teórico.....</b>	<b>23</b>
2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	23
2.1.1 Aguas residuales.....	23
2.1.2 Componentes de las aguas residuales.....	23
2.1.3 Características de las Aguas Residuales.....	24
2.1.4 Características Físicas de las Aguas Residuales.....	24

2.1.5 Características Químicas de las Aguas Residuales.....	26
2.1.6 Características Biológicas de las Aguas Residuales.....	28
2.1.7 Aguas residuales domésticas.....	29
2.1.8 Tratamientos de aguas residuales.....	29
2.1.9 Niveles del Tratamiento del Agua Residual.....	30
2.1.10 Remoción de Turbidez.....	31
2.1.11 Coagulación.....	31
2.1.12 Mecanismos de coagulación.....	33
2.1.13 Tipos de coagulantes.....	34
2.1.14 Coagulantes sintéticos.....	34
2.1.15 Coagulantes naturales.....	35
2.1.16 Coagulante de Cloruro Férrico.....	36
2.1.17 Coagulante de cáscara de maracuyá.....	37
2.1.18 Factores que influyen en la coagulación.....	38
2.1.19 Tipos de coagulación.....	39
2.1.20 Floculación.....	39
2.1.21 Tipos de floculación.....	40
2.1.22 Planta de tratamiento del Callao [PTAR] Playa Rímac.....	40
2.2 Marco conceptual.....	41
2.2.1 Definición de Términos.....	41
2.3 Marco Legal Ambiental.....	43
<b>III. Método.....</b>	<b>45</b>
3.1 Tipo de investigación.....	45
3.2 Ámbito temporal y espacial.....	45
3.2.1 Ámbito temporal.....	45

3.2.2	Ámbito espacial.....	45
3.3	Variables.....	46
3.4	Población y muestra.....	48
3.4.1	Población.....	48
3.4.2	Muestra.....	48
3.5	Instrumentos.....	48
3.5.1	Técnicas.....	48
3.5.2	Instrumentos.....	48
3.5.3	Equipos.....	48
3.6	Procedimientos.....	49
3.6.1	Caracterización del Efluente Doméstico.....	49
3.6.2	Preparación del Cloruro Férrico y Cáscara de Maracuyá.....	50
3.6.3	Ensayos de Jar Test.....	50
3.6.4	Determinación de DQO, DBO y Turbiedad.....	52
3.6.5	Análisis final.....	54
3.7	Análisis de datos.....	54
<b>IV.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>55</b>
4.1	Caracterización del efluente doméstico.....	56
4.2	Determinación de la dosis óptima con el Bioadsorbente y Cloruro Férrico.....	57
4.2.1	Determinación de la dosis óptima con el bioadsorbente.....	57
4.2.2	Determinación de la dosis óptima con Cloruro Férrico.....	61
4.3	Determinación de las Eficiencias con el Bioadsorbente y Cloruro Férrico.....	65
4.3.1	Bioadsorbente de Maracuyá.....	65
4.3.2	Bioadsorbente de Cloruro Férrico.....	66
4.4	Análisis Estadístico.....	68



<b>V. Discusión de resultados.....</b>	<b>76</b>
<b>VI. Conclusiones.....</b>	<b>79</b>
<b>VII. Recomendaciones.....</b>	<b>80</b>
<b>VIII. Referencias.....</b>	<b>81</b>
<b>IX. Anexos.....</b>	<b>85</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Comparación de familias coagulantes.....	34
<b>Tabla 2.</b> Propiedades físicas de una solución comercial 43% de cloruro férrico.....	37
<b>Tabla 3.</b> Composición de la cáscara de maracuyá.....	37
<b>Tabla 4.</b> Operacionalización de Variables de Investigación.....	47
<b>Tabla 5.</b> Caracterización del agua residual doméstica.....	56
<b>Tabla 6.</b> Concentraciones de DQO final para el Tratamiento 1.....	57
<b>Tabla 7.</b> Concentraciones de Turbiedad final para el Tratamiento 1.....	58
<b>Tabla 8.</b> Concentraciones de DBO final para el Tratamiento 1.....	60
<b>Tabla 9.</b> Concentraciones de DQO final para el Tratamiento 2.....	61
<b>Tabla 10.</b> Concentraciones de Turbiedad final para el Tratamiento 2.....	62
<b>Tabla 11.</b> Concentraciones de DBO final para el Tratamiento 2.....	64
<b>Tabla 12.</b> Eficiencia de DQO final para el Tratamiento 1.....	65
<b>Tabla 13.</b> Eficiencia de Turbiedad final para el Tratamiento 1.....	66
<b>Tabla 14.</b> Eficiencia de DBO final para el Tratamiento 1.....	66
<b>Tabla 15.</b> Eficiencia de DQO final para el Tratamiento 2.....	67
<b>Tabla 16.</b> Eficiencia de Turbiedad final para el Tratamiento 2.....	67
<b>Tabla 17.</b> Eficiencia de DBO final para el Tratamiento 2.....	68
<b>Tabla 18.</b> Agrupación de datos para análisis estadísticos respectivo.....	69
<b>Tabla 19.</b> Estadísticas Descriptivas analizadas para prueba Kruskal-Wallis.....	72
<b>Tabla 20.</b> Resultados de la prueba Kruskal-Wallis.....	72
<b>Tabla 21.</b> Resultados de la prueba de comparación Tukey.....	73
<b>Tabla 22.</b> Resultados de eficiencia de tratamientos según análisis.....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama del procedimiento de coagulación durante el tratamiento de aguas.....	32
<b>Figura 2.</b> Imagen del interior de la Planta de tratamiento del Callao – Playa Rímac.....	41
<b>Figura 3.</b> Comportamiento de DQO final para el Tratamiento 1.....	58
<b>Figura 4.</b> Comportamiento de Turbiedad final para el Tratamiento 1.....	59
<b>Figura 5.</b> Comportamiento de DBO final para el Tratamiento 1.....	60
<b>Figura 6.</b> Comportamiento de DQO final para el Tratamiento 2.....	62
<b>Figura 7.</b> Comportamiento de Turbiedad final para el Tratamiento 2.....	63
<b>Figura 8.</b> Comportamiento de DBO final para el Tratamiento 2.....	64
<b>Figura 9.</b> Resultados de la prueba de normalidad AD.....	70
<b>Figura 10.</b> Resultados de aplicación de prueba de homogeneidad de varianzas de datos no paramétricos.....	71
<b>Figura 11.</b> Comparación de resultados usando prueba Tukey.....	73
<b>Figura 12.</b> Comparación de resultados usando prueba Tukey Concentración Final vs Parámetro.....	74

## RESUMEN

Las nuevas alternativas de tratamiento de las aguas residuales han ido incrementando a lo largo de los años; por lo cual, la necesidad de evaluar la eficiencia de estas en torno a resultados, costo y condiciones que puedan determinar la óptima remoción de elementos perjudiciales se ha vuelto una temática recurrente en los investigadores del campo. Es por ello que el presente estudio tiene como objetivo principal evaluar la eficiencia del Cloruro Férrico y cascara de Maracuyá en la remoción de DQO, DBO y Turbiedad en aguas residuales domésticas, y, para lograr este fin se empleó una metodología basada en la investigación aplicada con un diseño de enfoque experimental. A partir de lo anterior se encontraron los siguientes resultados: 1. la dosis óptima con el bioadsorbente de maracuyá fue de 25% logrando una reducción de DQO a 186.3 mg/l, de turbiedad a 39.1 NTU y de DBO a 44.8 mg/l, 2. la dosis óptima con el cloruro férrico fue de 25% logrando una reducción de DQO a 175.3 mg/l, de turbiedad a 26.8 NTU y de DBO a 74.5 mg/l, el bioadsorbente de maracuyá logró eficiencias de DQO de 68.3%, de turbiedad de 86.9% y de DBO de 80.1%, y, 4. el cloruro férrico logró eficiencias de DQO de 70.1%, de turbiedad de 93.3% y de DBO de 66.9%. En conclusión se pudo observar que ambos tratamientos con la dosis mencionada lograron estar por debajo de los LMP, y, el cloruro férrico mostró ser más eficiente en cuanto a reducción de DQO y DBO mientras que el bioadsorbente obtuvo una eficiencia mayor en relación a la reducción de turbiedad.

**Palabras claves:** cloruro férrico, bioadsorbente de maracuyá, DQO, DBO, turbiedad.

## ABSTRACT

New wastewater treatment alternatives have been increasing over the years; therefore, the need to evaluate their efficiency regarding results, cost and conditions that can determine the optimal removal of harmful elements has become a recurring theme among researchers in the field. This is why the main objective of this study is to evaluate the efficiency of Ferric Chloride and Passion Fruit peel in the removal of COD, BOD and Turbidity in domestic wastewater, and to achieve this purpose a methodology based on applied research was used with an experimental approach design. From the above, the following results were found: 1. the optimal dose with the passion fruit bioadsorbent was 25%, achieving a reduction of COD to 186.3 mg/l, turbidity to 39.1 NTU and BOD to 44.8 mg/l, 2. the optimal dose with ferric chloride was 25%, achieving a reduction of COD to 175.3 mg/l, turbidity to 26.8 NTU and BOD to 74.5 mg/l, the passion fruit bioadsorbent achieved COD efficiencies of 68.3%, turbidity of 86.9% and BOD of 80.1%, and, 4. ferric chloride achieved COD efficiencies of 70.1%, turbidity of 93.3% and BOD of 66.9%. In conclusion, it could be observed that both treatments with the aforementioned dose managed to be below the LMP, and ferric chloride showed to be more efficient in terms of reducing COD and BOD while the bioadsorbent obtained a greater efficiency in relation to the reduction. . of turbidity.

**Keywords:** ferric chloride, passion fruit bioadsorbent, COD, BOD, turbidity.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción y formulación del problema

#### 1.1.1 Descripción del problema

La una de las grandes preocupaciones ambientales en razón de la disposición final de las aguas residuales domésticas ha sido la falta de tratamiento para descargarlos en los cuerpos de agua superficiales y en el suelo, esto sin duda alguna afecta la calidad de estas aguas naturales y puede generar daños en la salud de las personas y el ambiente (Muñoz y Vasquez, 2019).

En la actualidad se sabe que las aguas residuales son una de las mayores fuentes de contaminación, el cual que altera las condiciones físicas y biológicas al realizarse los vertidos directamente al ambiente sin ningún tipo de tratamiento (Koyuncu y Arıman, 2020). Este problema se presenta generalmente en países en desarrollo que es un problema enorme para miles de personas debido a la falta de un adecuado suministro de agua, saneamiento e higiene quien se relaciona con la contaminación del agua por aguas residuales (Khan et al., 2019).

En la disposición de las aguas residuales domésticas se vierten un gran volumen de contaminantes diferentes que afectan la calidad del agua (Okadera et al., 2020). Las aguas residuales domésticas se componen de grandes volúmenes de residuos, las cuales principalmente se deben por actividades antropogénicas, especialmente aquellas aguas residuales generadas en los baños, duchas, lavadoras, lavavajillas y cocinas, las cuales por sus contenidos perjudican el ambiente natural y la salud de las personas (Gorgich et al., 2019).

En tal sentido es necesario contar con tratamientos para remover la materia orgánica suspendida y disuelta medida expresada como DQO, para lo cual tenemos sistemas de tratamiento del tipo aeróbicos algo costosos por el uso de energía que muchas veces se requiere, y anaeróbicos, que en sus diversas formas se presenta tal vez no como la única ni como la mejor

entre todas, pero si como la más viable por tener bajo costo, ser sostenible y eficiente en la remoción de compuestos orgánicos biodegradables, aunque es preciso indicar que compuestos mineralizados como nitrógeno en sus formas solubles, fosfatos, sulfuros y microorganismos patógenos, permanecerán presentes en el efluente y deben ser removidos en un tratamiento avanzado posterior conocido como pos-tratamiento (Torres, 2001).

Debido a la demanda en el tratamiento de aguas residuales domesticas por el crecimiento poblacional a nivel mundial, el aumento del consumo de energía en las plantas sería inevitable, ya que las normas de descarga de efluentes se están volviendo cada vez más exigentes en más países debido a las serias preocupaciones sobre la salud pública y la protección del ambiente, en este sentido es posible se requieran sistemas de tratamiento que consuman mayor energía para satisfacer dichas necesidades. En tal sentido, el importante consumo de energía en las plantas de tratamiento de aguas residuales, en la actualidad es un tema crítico de interés que reta a la práctica global de tratamiento de aguas residuales, en especial cuando se habla de sostenibilidad ambiental (Wan et al., 2016).

Hoy en día se requieren los mayores esfuerzos en la búsqueda de alternativas que coadyuven en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, motivo por el cual el uso de compuestos inorgánicos y naturales pueden convertirse en una opción a considerarlo, sin embargo las eficiencias pueden variar respecto al uso de los mismos, por lo que es importante evaluar las eficiencias de cada uno de ellos en particular y proponerlos como alternativas de aplicación a fin de alcanzar la mayor remoción de materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas.

### 1.1.2 Formulación del Problema

#### 1.1.2.1 Problema general

¿Cómo será la eficiencia del Cloruro Férrico y cáscara de Maracuyá en la remoción de DQO, DBO y Turbiedad en aguas residuales domésticas, 2023?

### 1.1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son las características de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas?
- b) ¿Cuál es la dosis óptima del Cloruro Férrico y cascara de Maracuyá para la remoción de DQO, DBO y Turbiedad de las aguas residuales domésticas?
- c) ¿Cuál es la eficiencia del Cloruro Férrico y cascara de Maracuyá para la remoción de DQO, DBO y Turbiedad de las aguas residuales domésticas?

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 Antecedentes Internacionales

Fabara et. al. (2019), en su artículo científico, plantearon como finalidad comparar la eficiencia del cloruro férrico y sulfato ferroso, como coagulantes en el tratamiento de aguas residuales del Hospital Docente de Calderón-Ecuador, empelando una variación de pH para el cloruro férrico. Dentro de la metodología se consideró los parámetros de DQO, DBO y turbidez para determinar el nivel de contaminación existente en el agua residual y agua tratada. Partiendo que el agua residual posee 533,33mg/L de DQO, 235 mg/L de DBO y 35 NTU de turbidez se seleccionó un tratamiento secundario fisicoquímico con procesos de coagulación. Obteniéndose que los porcentajes de remoción con  $\text{FeCl}_3$  para la DQO fue de 66.24%, con  $\text{FeSO}_4$  fue de 49.37% y con  $\text{FeCl}_3+\text{FeSO}_4$  fue de 56.68%, mientras que la remoción total de la Turbidez con  $\text{FeCl}_3$  fue de 89.28%, con  $\text{FeSO}_4$  fue de 86.06% y con  $\text{FeCl}_3+\text{FeSO}_4$  fue de 87.64%. logrando resultados óptimos con el  $\text{FeCl}_3$  como coagulante, el cual alcanzó una remoción del 79.37% en la DQO.

Kalavathy et. al (2017), en su artículo científico indican que la coagulación en combinación con la floculación y la sedimentación son un proceso que se emplea en el tratamiento de aguas para eliminar contaminantes indeseables. Es así que empelaron el cloruro férrico y el alumbre, para determinar sus capacidades para reducir la turbidez de sus muestras



de agua recolectada de Durgam Cheruvu en Junio de 2016. En esta investigación realizaron pruebas de jarra para optimizar la dosis de coagulante y estudiar el efecto del alumbre y el cloruro férrico en parámetros fisicoquímicos como pH, CE, TDS, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, Cl y Alcalinidad. Obteniendo como resultados que el proceso de coagulación podría eliminar la turbidez de manera efectiva utilizando alumbre y cloruro férrico probados dentro del rango de dosis (50-100 mg/L). Se observó también que la eliminación de la turbidez depende del pH, la dosis de coagulante y la turbidez inicial del lago para ambos coagulantes utilizados. Concluyéndose que la mayor eficiencia de eliminación de turbidez estuvo dentro del 66-76 % para el alumbre y del 71-80 % para el cloruro férrico en el rango de dosis aplicada; ambos coagulantes utilizados demostraron un rendimiento prometedor en la eliminación de turbidez de la muestra tratada.

Hoang Le et al. (2020), en su investigación, plantearon determinar la eliminación de turbidez y otros contaminantes de aguas residuales de tintes mediante mucílago extraído de la cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) y su efecto en la reducción del cloruro de polialuminio (PACl) químico sintético utilizado en el proceso de coagulación y floculación (CF). La eliminación de la turbidez en un proceso de Coagulación – Floculación utilizando Polialuminio y mucílago gde fruta del dragón se investigó basándose en pruebas jarras. Las eficiencias máximas de coagulación del polialuminio se observaron típicamente a pH 4,0-6,0 y concentraciones de 100-150 mg/L dependiendo de los tipos de aguas residuales, mientras que los tiempos de sedimentación óptimos fueron de 30-60 minutos, respectivamente. La adición de mucílago de pitahaya (0,5-50 mg/L) después de polialuminio (75-245 mg/L) dio como resultado eficiencias de eliminación de turbidez de hasta el 95%. Se demostró que la adición de mucílago extraído de las cáscaras de pitahaya aumenta la eficiencia de eliminación de turbidez y disminuye el uso de PACl. El aumento de la eliminación de turbidez a menudo se estimaba entre un 10 y un 32 %, mientras que el polialuminio utilizado era aproximadamente entre un 3 y un 10 % menos en comparación con el polialuminio total necesario para obtener

una eficiencia comparable cuando se utiliza solo. La actividad de floculación del mucílago también se comparó con la poliacrilamida (PAM), un floculante sintético orgánico.

Flórez et. al. (2017), en su investigación emplearon sales de aluminio y hierro como agentes coagulantes para la remoción química de materia orgánica y sedimentos, con la finalidad de evaluar la eficiencia del Cloruro Férrico y Sulfato de Aluminio como agente coagulante – floculante en la remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas. La eficiencia del sistema de coagulación - floculación en las aguas residuales municipales con elevado contenido de materia orgánica, se evaluó usando como indicadores la DQO, SST y Biomasa algal en las muestras de agua antes y después de este tratamiento. Obteniéndose como resultados para  $\text{FeCl}_3$  porcentajes de remoción de 77.13% en la DQO, 91.03% para SST y 96.22% para las Algas; mientras que para el  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  se alcanzó porcentajes de remoción de 76.36% para la DQO, 88,47% SST y 90,34% Algas. Concluyéndose que el coagulante con mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica para las aguas residuales municipales fue el  $\text{FeCl}_3$ , sin despreciar que el  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  logró óptimos resultados.

Marañón et. al. (2009), estudiaron la aplicación de diferentes coagulantes y floculantes a lixiviados de un antiguo vertedero para determinar las condiciones óptimas de eliminación de materia orgánica, color y turbidez. Se empleó cloruro férrico, sulfato de aluminio, policloruro de aluminio y polielectrolitos de poliacrilamida. Obteniéndose mayores eliminaciones de contaminantes (73% DQO, 98% color y 100% turbidez) utilizando cloruro férrico a un pH de 5,0—5,5 y para una dosis de 0,6 g Fe l<sup>-1</sup>. El volumen de lodo generado después de la centrifugación representa alrededor de 4,0—4,6 % cuando se emplea cloruro férrico o sulfato de aluminio, y 10% cuando se emplea policloruro de aluminio. Cuando se añadieron también floculantes los resultados obtenidos fueron similares a los encontrados al añadir sólo coagulantes, aunque se obtuvo un aumento considerable en la velocidad de sedimentación.

### 1.2.2 Antecedentes Nacionales

García y Zevallos (2021), en su estudio plantean determinar las condiciones ideales para la remoción de la DQO, turbidez NTU y fósforo total (PT mg/L) en el agua residual del Camal Conchucos S.A. dentro de la metodología se usó el proceso de coagulación-floculación empelando cloruro férrico como coagulante y fosfato diácido de potasio como floculante, para lo cual se analizó los efectos de 4 variables independientes: dosis de cloruro férrico (500-700 mg/L), dosis de fosfato (700-900 mg/L), velocidad de agitación rápida (250-320 rpm) y velocidad de agitación lenta (90-100 rpm) mediante la prueba de jarras. Obteniéndose como resultados condiciones óptimas a 700 mg/L de dosis de cloruro férrico, 900 mg/L de fosfato, 320 rpm de velocidad rápida y 100 rpm para una remoción de 50.75% de la DQO, 83.47% de turbidez y 44.08% de fósforo total.

Manrique (2019), en su investigación desarrollada comparó la remoción de sólidos suspendidos de agua superficial del río Lurín, empleando un coagulante artificial (Cloruro Férrico) y uno natural (*Opuntia ficus-indica*), con el objetivo de demostrar cuál de los dos posee más capacidad de remoción. Obteniendo como resultados para el coagulante natural *Opuntia ficus-indica* una remoción de turbidez del 74.14% con una dosis de 60 mg/L, logrando una reducción de la turbidez inicial de 100 NTU a 25.85 NTU, mientras que para el Cloruro Férrico se obtuvo una remoción de 73.73% con una dosis de 60 mg/L alcanzando una turbidez final de 26.26 NTU. De la misma manera obtuvo un porcentaje de remoción de la DQO de 75.69% con el coagulante natural *Opuntia ficus-indica* a una dosis de 60 mg/L, alcanzando una reducción de la DQO inicial de 48 mg/L a 11.66 mg/L, mientras que para el Cloruro Férrico se logró un porcentaje de remoción de 72.91% a una dosis de 50 mg/L obteniendo una DQO final de 13 mg/L. Concluyendo que la *Opuntia ficus-indica* posee una mayor capacidad de remoción de la turbidez y DQO a diferencia del Cloruro Férrico, es así que dicho coagulante natural puede emplearse para tratar aguas superficiales

contaminadas, como el río Lurín.

Revolledo (2021), en su investigación indicó que las aguas residuales generadas en el lavado de contenedores refrigerados del almacén M.P.S.A.R.C. son vertidas directamente al sistema de alcantarillado sin tratamiento previo, para lo cual estableció evaluar un proceso de coagulación-floculación y adsorción a nivel de laboratorio con el fin de reducir los parámetros fisicoquímicos de estas aguas residuales. Dentro de la metodología se tomó una población de 1 m<sup>3</sup> /h y una muestra de 26 L, es así que para dicho proceso de Coagulación – Floculación se utilizó como coagulante Orgánico: Cloruro Férrico y Policloruro de Aluminio con dosis de 1, 2 y 3 ml/L y como floculante se empleó dosis constantes de 3 ml/L de poliacrilamida aniónica. En el proceso de adsorción se empleó 500 g de carbón activado granular para 5 y 10 minutos de contacto. Obteniendo que 3 ml/L fue la dosis óptima para cada coagulante, mostrando el Cloruro Férrico mayor eficiencia, mientras que en el proceso de adsorción presentó mayor remoción de DQO y turbidez a los 10 minutos de contacto. Concluyéndose que al finalizar el tratamiento el sistema logró reducir 98.11 %, 98.88 %, 99.84 %, 99.50 %, 99.90 % de DBO<sub>5</sub>, de DQO, SST y AyG respectivamente.

Sifuentes (2019), en su investigación que realizó planteó evaluar la remoción de turbidez empleando un coagulante natural, que se extrajo de la semilla de “maracuyá” *Passiflora edulis*, para lo cual procedió a emplear soluciones modelos con distintos grados de turbidez. Así mismo consideró los siguientes parámetros: dosis (5ml – 15ml), granulometría de la semilla (fina y gruesa) y niveles de turbidez (85 NTU – 230NTU) como factores que influyen en el proceso de coagulación; para ejecutar este proceso se empleó el método de jarr test considerando parámetros fijos como el tiempo, velocidad de agitación y tiempo de sedimentación. Obteniéndose como resultados para la remoción de turbidez 85 NTU, con una dosis de 5ml de coagulante, con una granulometría fina de semilla, mientras con una turbidez de 230 NTU se logró mejores resultados a una dosis de 15ml y

granulometría gruesa de la semilla, llegando así a más de 60% y 80% de remoción de turbidez respectivamente. Concluyendo que dicho coagulante es una alternativa eficiente en el tratamiento de aguas.

Espíritu y Valladares (2022), en su estudio, tuvieron como finalidad analizar la influencia de la cáscara de maracuyá y la cáscara de papa en la reducción de contaminantes de lixiviados del botadero municipal de la Provincia de Chupaca. Dentro de la metodología realizaron los análisis del lixiviado del botadero, donde encontraron que la caracterización fisicoquímica de los lixiviados generó valores de DQO de 7639 mg/L, DBO5 de 4984 mg/L y turbidez de 285 NTU. Se emplearon dosis de 1 g, 1.5 g y 2 g de adsorbente y un pH de 5.0, 6.0 y 7.0, donde a una dosis de 2 g y pH de 5 se obtuvo mayor remoción de los contaminantes del lixiviado, donde la cáscara de maracuyá alcanzó un porcentaje de remoción de 81.59% para la DQO, 83.83% para la DBO5 y 97.87% para la turbidez; mientras que la cáscara de papa logró 79.88% para la DQO, 83.90% para la DBO5 y 97.54% para la turbidez. Concluyéndose que el porcentaje de remoción de los contaminantes de lixiviados empleando cáscara de maracuyá es mayor que la cáscara de papa.

### **1.3 Objetivos**

#### 1.3.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia del Cloruro Férrico y cascara de Maracuyá en la remoción de DQO, DBO y Turbiedad en aguas residuales domésticas, 2023.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domesticas antes del tratamiento con Cloruro Férrico y cascara de Maracuyá.
- Determinar la dosis óptima obtenida con Cloruro Férrico y cascara de Maracuyá en la remoción de DQO, DBO y Turbiedad en aguas residuales domésticas.
- Estimar las eficiencias obtenidas con Cloruro Férrico y cascara de Maracuyá en la

remoción de DQO, DBO y Turbiedad en aguas residuales domésticas.

#### **1.4 Justificación**

La **justificación teórica** se sustenta en el proceso de coagulación por el cual la materia orgánica coloidal puede ser removida de las aguas residuales domésticas teniendo en consideración un agente coagulante sintético o natural, quien después de su aplicación pasará por dos etapas principales, una inicial de desestabilización y posterior agregación de partículas suspendidas en forma coloidal en el agua, de tal manera que permita potenciar la etapa de sedimentación final en que las partículas deben separarse del agua, la desestabilización se logra neutralizando sus cargas eléctricas con las que actúan con su llamada fuerza de repulsión, su potencial Z se anula y las partículas coloidales tienden a unirse por acción de masas.

La **justificación práctica**, se sustenta en la necesidad de contar con diferentes alternativas en el tratamiento de aguas residuales domésticas, entre las cuales tenemos aplicaciones de coagulantes inorgánicos y orgánicos quienes bajo ciertas condiciones de trabajo van a permitir remover contaminantes orgánicos como la DQO y Turbiedad, logrando de esta manera reducir el impacto en los cuerpos receptores.

La **justificación metodológica** se basa en la aplicación de la prueba de jarras, quien en la práctica combina tres procesos, la primera consiste en la desestabilización de las partículas, desestabilización del coloide por reducción del potencial Z y aglomeración por arrastre de partículas. La dosificación del coagulante es muy variable por lo que existe la necesidad de encontrar un óptimo mediante ensayos de laboratorio.

El Jar Test, deriva su simplicidad de desarrollo, interpretación y versatilidad al estudiar diferentes parámetros que influyen en el proceso de coagulación-floculación, como por ejemplo el tipo de coagulantes o floculantes, dosis óptima, determinación de los puntos de dosificación, determinación del pH óptimo en la coagulación, ajuste de las velocidades

y tiempos a considerar en el proceso de agitación e incidencia de otras sustancias.

La **justificación social**, se basa en la remoción de la DQO y Turbiedad de los efluentes domésticos que por lo general son vertidos a los cuerpos receptores como lagos y ríos, los cuales muchas veces son utilizados por los pobladores como riego de vegetales o para bebida de animales, y en otros casos como uso poblacional con tratamiento convencional, el tratamiento aplicado permitirá que los usuarios no queden expuestos a sustancias con altos contenidos de materia orgánica y turbiedad.

La **justificación ambiental**, se basa en que la investigación usará compuestos inorgánicos ( $\text{FeCl}_3$ ) y orgánicos (Cáscara de Maracuyá) considerado este último como un desecho, con características biodegradables que no dejará residuos en el ambiente.

La investigación pretende medir la eficiencia entre dos coagulantes, el segundo de naturaleza biodegradable, en este sentido el uso de un floculante natural elaborado a partir de la cáscara de Maracuyá ayudará en la remoción de materia orgánica suspendida y soluble. A nivel industrial puede ayudar también a reducir considerablemente el uso de coagulantes inorgánicos minimizando los costos operativos de gran forma.

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1 Hipótesis General**

La evaluación de la eficiencia del Cloruro Férrico y Cáscara de Maracuyá permitirá conocer el nivel de remoción de DQO, DBO y Turbiedad en aguas residuales domésticas, 2023.

### **1.5.2 Hipótesis Específicas**

- Los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas exceden los Límites Máximos Permisibles para aguas residuales domésticas.
- Las dosis óptimas obtenida con Cloruro Férrico y cáscara de Maracuyá permitirán remover la DQO, DBO y Turbiedad en aguas residuales domésticas.

- Las dosis óptimas obtenidas con Cloruro Férrico y cáscara de Maracuyá permitirán conocer las eficiencias en la remoción de DQO, DBO y Turbiedad en aguas residuales domésticas.



## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación

#### 2.1.1 Aguas residuales

Las aguas residuales son todas aquellas aguas cuya calidad se ha visto afectada de manera negativa debido a factores antropogénicos que incluyen actividades humanas como la minería, la agricultura, la limpieza de hogares, entre otros; en ese sentido, no tiene un valor de uso en su situación actual por lo que requieren ser sometidas a un tratamiento previo al intentar emplearlas o verterlas en otros efluentes (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014). Estas pueden ser categorizadas en tres grupos de acuerdo a la fuente mediante la cual aparecen: aguas residuales industriales, aguas residuales domésticas y aguas residuales municipales; sin embargo, la Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2017) menciona que a esta categorización se le pueden añadir fuentes tales como la escorrentía urbana, la escorrentía agrícola, la acuicultura terrestre, las actividades mineras, la generación de energía y los lixiviados de vertederos.

Además, las fuentes de aguas residuales presentan los siguientes componentes principales, considerando que los contaminantes emergentes son cualquier sustancia que no se detecte usualmente en el medio ambiente. En primer lugar, las aguas residuales domésticas suelen estar compuestas por excrementos, nutrientes y materia orgánica, así como contaminantes emergentes. En segundo lugar, las aguas residuales municipales presentan una gran diversidad de contaminantes (patógenos, nutrientes, metales pesados, materia orgánica y contaminantes emergentes). En tercer lugar, las aguas residuales industriales presentan contaminantes de acuerdo con el tipo de industria que los produzca (ONU, 2017).

#### 2.1.2 Componentes de las aguas residuales

Fundación Ecomar (2020) menciona que los componentes pueden ser divididos de la siguiente manera: (a) físicos; color, olor, sólidos y temperatura, (b) químicos; orgánicos

(carbohidratos, grasas, animales, aceites, pesticidas, proteínas, entre otros), inorgánicos (alcalinidad, cloruros, metales pesados, nitrógeno, pH, fósforo, azufre, entre otros) y gases (sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno), y, (c) biológicos, suelen ser animales y plantas. Además, según Eriksson et al. (2002), señalan que los componentes de las aguas residuales pueden tener los siguientes efectos: la muerte de la fauna terrestre y marina, la bioacumulación en la cadena alimenticia, el incremento de la presencia de metales tóxicos que pueden perjudicar la salud de las personas y de los animales, el aumento de la aparición de residuos de productos farmacéuticos, la eutrofización, el agotamiento del oxígeno, entre otros.

### 2.1.3 Características de las Aguas Residuales

Campo y Tobar (2011), indican que el agua residual se produce: de los desechos humanos y animales, de los procesos industriales, de la escorrentía de aguas lluvias e infiltraciones de aguas subterráneas. Es así que comprender sus características físicas, químicas y biológicas es importante para el diseño, operación y mantenimiento de los sistemas de recolección, tratamiento y disposición estés.

Así mismo afirman que para desarrollar el tratamiento del agua residual se consideran aspectos físicos tales como: temperatura, sólidos, turbiedad, color, entre otros y aspectos químicos como: DQO, DBO5, pH y alcalinidad; los cuales son necesarios para la selección de la tecnología a utilizar como para la operación del sistema de tratamiento de agua residual.

### 2.1.4 Características Físicas de las Aguas Residuales

Dentro de los parámetros físicos del agua residual: la temperatura y los sólidos son los factores más importantes para los tratamientos, ya que la temperatura afecta las reacciones químicas y actividades biológicas, mientras que la presencia de sólidos afecta la operación y el dimensionamiento de las unidades.

Las impurezas del agua residual se relacionan con la presencia de sólidos en su forma disuelta o ionizada y compuestos orgánicos en suspensión tal como microorganismos y

coloides.

- ❖ Temperatura: la temperatura de las aguas residuales depende de la temperatura del ambiente, la cual es más baja que la última, aunque en ocasiones puede ser levemente superior, gracias a las descargas de agua caliente de los hogares e industrias. El incremento de temperatura acelera la descomposición de la materia orgánica, incrementa el consumo de oxígeno para la oxidación de esta y reduce la solubilidad del oxígeno y otros gases.
- ❖ Sólidos: para el tratamiento del agua residual, es importante retirar los sólidos ya que engloban toda la materia orgánica e inorgánica en suspensión, y los microorganismos patógenos. Los contaminantes orgánicos en el agua residual se clasifican según su tamaño en sólidos suspendidos y sólidos disueltos, siendo 0,1  $\mu\text{m}$  el límite que divide esta clasificación en el agua residual, es así que cerca del 60% de la materia orgánica se encuentran en forma suspendida, el 25% en forma disuelta y 15% en un punto intermedio en forma denominada coloidal. Por otro lado, en el agua residual doméstica, los sólidos suspendidos son desechos humanos y de comida, cúmulos de bacterias y algas y protozoos, los sólidos de tamaño coloidal están relacionados con bacterias, virus, ADN, polisacáridos y proteínas, mientras que los sólidos disueltos son ácidos fúlvicos y húmicos, nutrientes, carbohidratos, aminoácidos, ácidos grasos y compuestos orgánicos sintéticos
- ❖ Turbiedad: Los sólidos que se encuentran en el agua residual producen turbiedad al dispersar la luz incidente sobre ella; se mide para determinar la calidad de las descargas de agua residual y aguas naturales en relación con su contenido de materia coloidal y suspendida. En las aguas residuales la turbiedad se relaciona con los microorganismos, algas y partículas inorgánicas, pero por su

imprecisión de correlaciones, en el agua residual se emplea como referencia.

La turbiedad es la medida del grado en el que la materia suspendida en el agua absorbe o dispersa la luz incidente sobre ella, se emplean 2 tipos de turbidímetros, ambos se basan en fotometría, pero siguen 2 principios: el primero sigue el principio de absorción, mide la luz que atraviesa la muestra y relaciona con la cantidad que fue absorbida. El segundo tipo se basa en la dispersión, donde la celda del fotómetro se ubica en un ángulo de  $90^\circ$  con respecto al rayo de luz, midiendo la luz que es refractada o dispersada por la materia suspendida en la muestra de agua. Esta medición se conoce como nefelometría, la unidad de medida es UNT (Unidades Nefelométricas de Turbiedad) y es la medida adecuada de la turbiedad.

- ❖ **Color:** El color del agua residual es resultado de la presencia de iones metálicos (Fe y Mn), sustancias húmicas y turba, así como de desechos industriales; el color del agua residual doméstica tiene como fuente la descomposición de la materia orgánica, es así que tiende a ser entre café y gris claro; pero cuando viaja por los sistemas de recolección su color varía a gris oscuro y luego a negro. Este color se da por la producción de sulfuros que se da en condiciones anaeróbicas, y que reaccionan con los metales presentes en el agua para formar sulfuros metálicos. Las sustancias húmicas están formadas por ácido húmico y ácido fúlvico generados por productos en descomposición de madera y materia orgánica disuelta del suelo; es así como el color depende del pH, a menor pH mayor es el valor de color (Campo y Tobar, 2011).

#### 2.1.5 Características Químicas de las Aguas Residuales

Los sólidos disueltos y suspendidos presentan materia orgánica e inorgánica, menciona Campo y Tobar (2011), manifestando que la primera incluye carbohidratos, grasas, aceites,

surfactantes, proteínas, pesticidas, compuestos orgánicos y otros compuestos químicos, mientras que la materia inorgánica abraza metales pesados, nutrientes, compuestos de cloro, y azufre, al igual que compuestos que aportan alcalinidad y modificadores de pH; es así como gases CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y CH<sub>4</sub> pueden contenerse en el agua residual. La presencia de N en el agua residual doméstica varía entre 25 y 85 mg\*L<sup>-1</sup> y el P varía entre 2 y 20 mg\*L<sup>-1</sup>, estos dos son nutrientes esenciales para el crecimiento y reproducción de los microorganismos en procesos de tratamiento biológico. Los componentes químicos del agua no se miden de forma directa, es así que son cuantificados por otros parámetros o procedimientos analíticos, entre estos se encuentran la DBO<sub>5</sub>, DQO, pH y la alcalinidad.

- ❖ DBO: La DBO<sub>5</sub> mide la cantidad de oxígeno durante una incubación de 5 días para la degradación bioquímica de materia orgánica (demanda carbonácea) y el oxígeno usado para oxidar materia inorgánica como S<sup>-2</sup> y Fe<sup>+2</sup>. Este parámetro se usa como indicador de contaminación del agua, principalmente en el caso del agua residual doméstica y ya que la materia orgánica es su principal contaminante (Campo y Tobar, 2011)
- ❖ DQO: cantidad de un oxidante que reacciona con una muestra bajo condiciones controladas, la cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia de oxígeno. En esta prueba se oxidan componentes orgánicos como inorgánicos; Debido a que la prueba de DBO requiere de un tiempo mínimo de 5 días, la DQO se usa para las operaciones de tratamiento de aguas residuales una vez que la relación entre DBO<sub>5</sub> y DQO ha sido desarrollada para el tratamiento; esta relación es importante para seleccionar el sistema de tratamiento a emplear en cada tipo de agua residual, siendo preferible el tratamiento biológico con relaciones por encima de 0,4 ya que se considera que el agua es fácilmente biodegradable.

- ❖ Ph: expresa la acidez de una solución, que puede ser utilizado tanto para agua superficial, como para agua residual, la concentración de iones hidronio es importante para el tratamiento de aguas residuales y la manera de expresar esta concentración es el pH, el cual se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidronio. El pH es una prueba importante en la química de agua, ya que todas las fases del tratamiento de aguas (neutralización ácido-base, ablandamiento de agua, precipitación, coagulación, desinfección, entre otras) dependen del pH.
- ❖ Alcalinidad: resulta de la presencia de los iones  $[\text{OH}^-]$ ,  $[\text{CO}_3^{2-}]$  y  $[\text{HCO}_3^-]$  de elementos como Ca, Mg, Na, K y amoníaco, de estos el bicarbonato de Ca y Mg son los más usuales; compuestos como los boratos, silicatos y fosfatos contribuyen a la alcalinidad en menor cantidad. La alcalinidad total se define como la capacidad de una sustancia de neutralizar un ácido, es así que la alcalinidad en el agua ayuda a resistir la reducción de pH causada por la adición de una sustancia ácida, por tal motivo la concentración de alcalinidad es importante en el tratamiento químico y biológico (Campo y Tobar, 2011).

#### 2.1.6 Características Biológicas de las Aguas Residuales

Para Campo y Tobar (2011), los microorganismos presentes en las aguas residuales son bacterias, hongos, protozoarios, plantas y virus, la mayoría de estos (bacterias y protozoarios) favorecen los procesos de tratamiento, pero algunos microorganismos de tipo patógeno perjudican la salud. Dichos organismos son excretados por el tracto intestinal de los humanos y descargados en el agua residual, generando enfermedades que son transmitidas mediante el agua como el cólera, la fiebre tifoidea, la diarrea y la disentería. Es así como las bacterias como los coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales son utilizados como indicadores.

### 2.1.7 Aguas residuales domésticas

Es un tipo de agua residual que suele caracterizarse por el gran volumen de material orgánico, microorganismos patógenos y materia suspendida; asimismo, logran surgir debido actividades cotidianas surgidas en espacios como viviendas, hoteles, restaurantes, centros de estudios y centros comerciales, en general, estas pueden encontrarse de distintas fuentes, así como en una gran variedad de cantidades (Zhang et al., 2021). Según Qasim (2017) las aguas residuales tienen como propiedades principales el poseer un color usualmente grisáceo, con un hedor mohoso y tiene un contenido sólido de alrededor 0.1%; además, este menciona que las aguas residuales domésticas pueden ser divididas de la siguiente forma: aguas residuales domésticas negras; tienen su origen en este ambiente debido a una mezcla de elementos como el agua, jabón, orina y heces (surgen del lavavajillas, grifos, lavadoras, duchas y lavabos), y aguas residuales domésticas grises; tienen su origen en este ambiente debido a una mezcla de elementos como el agua, jabón, aceites y grasas (surgen de los inodoros).

### 2.1.8 Tratamientos de aguas residuales

Para Revolledo (2021), el tratamiento de Aguas Residuales consta de una serie de mecanismos físicos, químicos y biológicos con el objetivo de remover la carga de contaminante del agua residual ya sean orgánicos e inorgánicos antes de su descarga, y así lograr la calidad necesaria por la normativa de descarga, generando agua limpia, reusable o generar un residuo sólido o lodo adecuado para su posterior eliminación.

Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2017) el tratamiento; en el contexto de las aguas residuales, hace referencia al procedimiento por el cual se someten a las aguas residuales para lograr que las propiedades de estas se cumplan con los objetivos propuestos para los efluentes y/o que estas logren encontrarse dentro de los límites permisibles establecidos de acuerdo con la zona en la cual se lleve a cabo este proceso; además, contienen las siguientes etapas:

- ✓ Tratamientos preliminares: tiene como finalidad retener los sólidos (gruesos y/o finos) que presenten un volumen mayor al agua y arenas para poder así colaborar con los tratamientos que se realizarán después de estos. Usualmente se emplean canales, desarenadores y/o tamices.
- ✓ Tratamientos primarios: tiene como objetivo principal el retirar todo material en suspensión, con excepción del material coloidal o disuelta, presentes en los efluentes, a su vez, usualmente tienden a eliminar entre el 60-70% de los SST y 30% del DBO.
- ✓ Tratamientos secundarios: tiene como finalidad remover nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo, así como reducir la posibilidad de que estas aguas termine ocasionando la eutrofización o la creación exponencial de las algas en diversos efluentes.

Alegre y Mendoza (2021), mencionan que el tratamiento de aguas residuales consiste en varios procesos de tipo físico, químico y biológico, los cuales tienen como objetivo remover o eliminar contaminantes o sustancias que afectan la composición y calidad del agua.

#### 2.1.9 Niveles del Tratamiento del Agua Residual

- ❖ **Tratamiento preliminar:** Es la eliminación de componentes que causan problemas operativos y de mantenimiento, así como los que generan daños a equipos como ramas, piedras, animales muertos, plásticos, arenas, grasas y aceites; generalmente se logra instalando rejillas, mallas, lijadoras y barras que capturan sólidos grandes y a desarenadores en donde se logra la precipitación de partículas con altos niveles de sedimentación (Revolledo, 2021).
- ❖ **Tratamiento primario:** aquí una parte de sólidos y materia orgánica suspendida se remueve del agua residual empleando la fuerza de la gravedad la cual se realiza por sedimentación.



- ❖ **Tratamiento primario avanzado:** trata de un tanque de sedimentación o de flotación para la remoción de material coloidal y en suspensión de agua residual a la que se le agregó una sustancia química para promover la coagulación, floculación y, así tener eficiencia de remoción de contaminantes
- ❖ **Tratamiento secundario:** comprende tratamientos biológicos y trata de la estabilización de la materia orgánica y la remoción de sólidos coloidales que no sedimentaron en el tratamiento primario, por lo cual se le denomina tratamiento biológico. Este tratamiento puede realizarse con presencia de oxígeno (proceso aerobio) o sin la presencia de oxígeno (proceso anaerobio) (Revolledo, 2021).
- ❖ **Tratamiento terciario o avanzado:** posee como objetivo la remoción de contaminantes que no fueron eliminados en los tratamientos biológicos como sólidos suspendidos, nutrientes y materia orgánica restante no biodegradable; este tratamiento se realiza cuando las condiciones de descarga son estrictas o cuando el agua está destinada para un determinado uso (Revolledo, 2021).

#### 2.1.10 Remoción de la Turbidez

Para lograr la remoción de la turbidez se emplea el proceso de coagulación/floculación, tanto para aguas que se someterán a procesos de potabilización o aguas residuales, para llevar a cabo la coagulación/floculación se tiene que emplear alumbre, cloruro férrico y polímeros de cadenas larga, menciona Ruíz (2022). Es así que el proceso de coagulación/floculación consta de 3 pasos: mezclado rápido, el cual presenta como objetivo dispersar los químicos en el agua lo que permite la coagulación; mezclado lento cuyo objetivo es mantener los componentes del agua mezclados y promover la floculación; y la sedimentación que es el proceso donde se detiene el mezclado y se da lugar a la precipitación de los flóculos.

#### 2.1.11 Coagulación

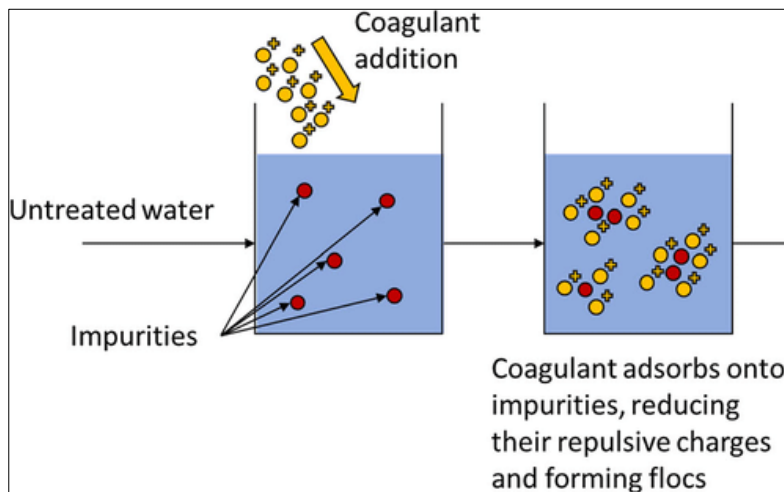
La coagulación; en el contexto del tratamiento de aguas residuales, hace referencia a un

procedimiento mediante el cual, al incluir un coagulante, partículas consideradas como finas (estables, inestables o sedimentadas) en unas de un volumen mayor (Choy et al., 2014). Es así como este proceso, de acuerdo con Bahrodin et al. (2021), se da la siguiente manera. En una primera instancia las partículas coloidales que se encuentran en las aguas y/o aguas residuales se caracterizan por permanecer en una fase estable; sin embargo, al incluir elementos químicos de carga positiva pueden desestabilizarlos. Además, es importante resaltar que, como mencionan estos autores, al añadir en mayor medida el coagulante, esto lleva a que regresen a una fase de estabilización lo cual evita que las partículas se aglomeren.

Por otro lado, Alegre y Mendoza (2021) indican que el proceso de coagulación es donde se da la desestabilización de las partículas suspendidas del agua (coloides), al agregar dosis de coagulantes (compuesto orgánico o inorgánico) que se encargan de neutralizar las cargas de estas partículas, electronegativas, para evitar que se repelen y así formar coágulos.

### Figura 1

*Diagrama del procedimiento de coagulación durante el tratamiento de aguas*



*Nota.* Turner y Oliver (2019).

En ese sentido, en este método actúan dos elementos: la partícula coloidal; es un tipo de partícula de un tamaño relativamente pequeño con una escala dimensional que abarca desde los nanómetros hasta los micrómetros según la conducta coloidal que se pretenda investigar, y

el coagulante; que se caracteriza por ser un elemento que posee iones de signo opuesto al del coloide (Lee, 2019). Pérez y Urrea (2012) mencionan que los factores que influyen en este procedimiento son los siguientes: tipo y cantidad de coagulante, el pH del agua, el tiempo de mezcla y proceso de floculación, la temperatura del agua, y, la agitación y presencia de los sólidos en suspensión.

#### 2.1.12 Mecanismos de coagulación

Siguiendo esta línea, la desestabilización de las partículas coloidales suele ser categorizada en los siguientes mecanismos (Alazaiza et al., 2022):

- ✓ **Comprensión de doble capa:** ocurre cuando a partículas suspendidas coloidales con carga negativa se les añade un coagulante con carga positiva, esto causa que los electrolitos del coagulante se incluyan en las partículas coloidales estabilizadas, y, finalmente, que los iones de cargas negativas se introduzcan en la doble capa.
- ✓ **Floculación de barrido:** ocurre cuando a partículas suspendidas coloidales con carga negativa se les añade un coagulante con carga positiva, esto causa la desestabilización de las partículas coloidales mientras que el coagulante forma un estado de precipitación lo cual concluye con partículas coloidales entrelazadas que se atrapan en el fondo de un recipiente.
- ✓ **Neutralización de carga:** ocurre cuando a partículas suspendidas coloidales con carga negativa se les añade un coagulante con carga positiva, esto causa la desestabilización de partículas coloidales por medio de la neutralización con una carga contraria, lo cual conlleva a que estas partículas sean atrapadas en el fondo del recipiente.
- ✓ **Puente entre polímeros:** ocurre cuando a partículas suspendidas coloidales con carga negativa se le añade un polímero coagulante, esto causa la desestabilización de las partículas coloidales por medio de la neutralización y adsorción lo cual conlleva a que se encuentren un puente entre partículas de polímeros atrapadas en el fondo de un

recipiente.

### 2.1.13 Tipos de coagulantes

De acuerdo con Pochteca (s.f.) los tipos de coagulantes pueden ser categorizados de la siguiente manera. En primer lugar, los coagulantes orgánicos, tienden a ser los más utilizados en tanto el objetivo se concentre en la separación de sólidos y líquidos por medio de la creación de lodos, los más populares en el medio son los polímeros y los coagulantes catiónicos. En segundo lugar, los coagulantes inorgánicos se encuentran compuestos por sales metálicas; por lo cual, poseen la capacidad de incrementar la floculación de las partículas en suspensión, los más populares en el medio son el aluminio y el hierro. Finalmente, la combinación de los coagulantes se basa en la mezcla de ambos tipos de coagulantes para potenciar las propiedades y ventajas de ambos, para así tener un mejor resultado en tanto la eliminación de impurezas.

**Tabla 1**

*Comparación de familias coagulantes*

<b>Tipo</b>	<b>Ventaja</b>	<b>Desventajas</b>
Orgánicos	Tiene una reacción rápida	Tiene un mayor costo
	Produce menos lodos	Existe una facilidad de brindar una sobredosis
	Resiste al cloro	
Inorgánicos	Bajo costo	Depende del pH y el T
	Rentable en ciertas aplicaciones	Altera el pH
	Mecanismo de barrido de flóculo	Es corrosivo
Mezclas	No necesita ajustar el pH	
	Es eficiente para la purificación	
	Minimiza el volumen de los lodos	

*Nota.* Litu et al. (2019).

### 2.1.14 Coagulantes sintéticos

También denominados coagulantes químicos, son un tipo de coagulantes que, con la finalidad de desestabilizar la materia suspendida y disuelta, forman coágulos que pueden

separarse por medio de procedimientos de separación entre productos sólidos-líquidos; además, las técnicas en las cuales se emplean en su mayoría este tipo de coagulantes son la sedimentación y flotación, así como sus principales exponentes son los coagulantes que tienen como base el hierro y el aluminio (Servyeco, s.f.). De igual manera, sus principales ventajas son las siguientes: disminuye la contribución de sales en los efluentes y en los procedimientos de tratamiento de aguas, reduce la variación del pH, aumenta la eficacia de la coagulación, disminuye la corrosión de los equipos empleados para el tratamiento de aguas, reduce la utilización de los floculantes y disminuye exponencialmente la cantidad de lodos, así como las propiedades de toxicidad y costo de estos (Owodunni e Ismaili, 2021).

Denominado por Campos y Tobar (2011) como coagulantes metálicos, que son sales metálicas, principalmente Fe y Al, que al ser agregados al agua forman iones metálicos hidratados, que forman luego hidróxidos que con el tiempo se polimerizan. Los iones metálicos hidratados actúan como ácidos fuertes, por lo cual causan un consumo de alcalinidad y un descenso del pH. Es así como el sulfato de aluminio es la sal más usada en los tratamientos de potabilización de agua, pero las sales de hierro aventajan a las sales de aluminio en algunos casos porque forman un floc más pesado y pueden trabajar en un rango más amplio de pH. Por otro lado, el cloruro férrico trabaja en un rango de pH de 4 a 11; una desventaja es que lodos generados en la coagulación con hierro son muy corrosivos, tienen un color café oscuro y suelen manchar o teñir los objetos y corrientes de agua, lo cual los vuelve difíciles de manejar. Es así que los coagulantes metálicos son afectados por el pH, temperatura, naturaleza de los coloides, tamaño de las partículas que causan turbiedad y la mezcla rápida.

#### 2.1.15 Coagulantes naturales

Alegre y Mendoza (2021), manifiestan que hay métodos de tratamiento con coagulantes naturales que se utilizan como alternativa de bajo costo para remover partículas suspendidas en las aguas residuales, siendo estos agentes importantes ya que son biodegradables, pues no

ocasionan daños al ambiente y mejoran la calidad del agua.

Por otro lado los coagulantes naturales, también denominados coagulantes “verdes”, se encuentran compuestos principalmente por polímeros que se originan de elementos naturales tales como plantas, algas o animales, algunos de estos pueden actuar en los procesos de coagulación y/o floculación; asimismo, una de las propiedades más importantes que poseen es el hecho de que logran combatir a los microbios, así como reducen (o, en algunos casos, eliminan) la presencia de contenidos patógenos en los microorganismos (Servyeco, s.f.). Siguiendo esta línea, sus principales beneficios son los siguientes: poseen una mayor eficiencia, la conductividad del efluente no incrementa (favorece el reúso del agua), no modifican el pH del agua tratada (no necesita alcalinizar los productos), disminuyen el costo del tratamiento (evita el uso innecesario de tecnología y floculantes), tienen menos costos de mantenimiento, y reduce las cantidades de lodos (Owodunni e Ismali, 2021).

#### 2.1.16 Coagulante de Cloruro Férrico

Es un tipo de coagulante dentro del grupo a base de hierro que se expresa como  $\text{FeCl}_3$  y que logra ser encontrado con gran disposición comercial en estados líquido, cristalino o anhidro; además, en los primeros dos estados tiende a ser considerado como un elemento altamente corrosivo; por lo cual, debe ser tratado de la misma manera que lo sería al tratar con ácido hidrocblórico (Bratby, 2016). Este se origina cuando se produce un ataque ácido de chatarra de hierro con ácido clorhídrico; sin embargo, también puede surgir de otras fuentes tales como las cascarillas de la producción de acero y los residuos creados por la pirita (Lopes et al., 2015). Asimismo, suele caracterizarse por poseer una turbiedad que decrece de manera veloz debido a la formación de flóculos fuertes y pesados, así como el hecho de lograr ser aplicado en un rango bastante amplio en relación al pH (Lee et al., 2011).

**Tabla 2**

*Propiedades físicas de una solución comercial de 43% de cloruro férrico*

<b>Propiedad física</b>	<b>Descripción</b>
Contenido de FeCl <sub>3</sub>	43% m/m (628 g aproximados)
Gravedad específica a 20°C	1.45 kg/l; 12 lb/U.S. gal
Viscosidad	10°C: 0.0169 N · s/m <sup>2</sup>
	20°C: 0.0137 N · s/m <sup>2</sup>
pH	1.0

*Nota.* Bratby (2016).

#### 2.1.17 Coagulante de cáscara de maracuyá

Es un coagulante de origen natural que proviene de la cáscara (usualmente considerado desecho que equivale a más del 50% del fruto) de la maracuyá (nombre científico *Passiflora edulis*) que, si bien es originaria de Brasil, actualmente se encuentra en una gran cantidad de zonas tropicales y subtropicales (Abboud et al., 2019). Esta parte del fruto se caracteriza no solo por estar compuesta de elementos tales como la pectina, celulosa, hemicelulosa y una diversidad de polisacáridos sino también por albergar grupos funcionales tales como carboxilo e hidroxilo, los cuales han demostrado ser ventajosos en términos de adsorción de contaminantes en efluentes (Silva et al., 2012).

**Tabla 3**

*Composición de la cáscara de maracuyá*

<b>Parámetros</b>	<b>Resultados %</b>
Materia seca	87.50
Materia orgánica	91.43
Proteína	7.10
Cenizas	8.57
Grasa	2.87
Fibra	39.74

*Nota.* Castañeda (2021).

### 2.1.18 Factores que Influyen en la Coagulación

Para optimizar el proceso de coagulación se considera:

- ❖ **Influencia del pH:** es una variable importante de considerar en la coagulación, ya que para cada tipo de agua hay un rango de pH óptimo para que la coagulación sea eficiente. Es así que el rango de pH depende del tipo de coagulante a emplear y de la procedencia del agua a tratar; puesto que las partículas en el agua varían según el pH; primordialmente carga superficial aumenta o reduce su valor con la ionización de ciertos grupos funcionales, como la materia orgánica natural; pero si se lleva a cabo fuera del rango de pH óptimo se debe aumentar la cantidad de coagulante, por lo cual incrementa los costos del tratamiento. Hay que tener presente que existen compuestos modificadores de pH, que se emplean para realizar un eficiente proceso de coagulación-floculación como son: CaO, Ca(OH)<sub>2</sub>, NaOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y HCl (Revolledo 2021).
- ❖ **Influencia de las sales disueltas** Las sales presentes en el agua varían los valores de Ph óptimo, tiempo de coagulación, cantidad de coagulantes y cantidad residual del coagulante dentro del efluente (Revolledo 2021).
- ❖ **Influencia de la Temperatura en el agua** interviene en el tiempo para formar los coágulos, dando lugar a relación inversa, es así que a menor temperatura, mayor tiempo para la formación del coágulo, sin embargo temperaturas elevadas no favorecen el proceso (Revolledo 2021).
- ❖ **Influencia de la dosis del Coagulante** Según Revolledo (2021), la cantidad del coagulante genera una eficiencia del proceso de coagulación:
  - Poca cantidad de coagulante no neutraliza en su totalidad la carga de la partícula, haciendo que la formación de microfloculos sea escasa y por consiguiente la turbiedad resultante sea elevada.



- Gran cantidad de coagulante ocasiona una inversión de la carga de la partícula, originando una gran cantidad de microfloculos con tamaños pequeños con velocidades de sedimentación bajas y por lo tanto la turbiedad que se obtiene se eleva.
- ❖ **Influencia de Mezcla** es el grado de agitación estable si el proceso se realizará de forma completa, es así como turbulencias diferentes generan que cierta cantidad de agua presente mayor concentración de coagulantes que la otra, es por ello que la agitación debe ser intensa y uniforme en toda la masa de agua para asegurar la reacción química de neutralización de cargas.
- ❖ **Influencia de la Turbidez** es un indicador que ayudará a identificar la dosis óptima del coagulante para el tratamiento del agua y así lograr un nivel menor luego del tratamiento (Revolledo 2021).

#### 2.1.19 Tipos de Coagulación

Para Revolledo (2021), existen 2 tipos de coagulación definidas como:

- ❖ **Por Adsorción** Cuando el coagulante se añade aun agua que posee partículas coloidales con elevadas concentraciones, ocasionando que los productos solubles de los coagulantes se absorban por coloides y se establezcan flóculos.
- ❖ **Por Barrido** cuando el agua posee baja turbidez y la cantidad de partículas coloides se reduce; generando que las partículas sean atrapadas al producirse una saturación con exceso de precipitado del coagulante.

#### 2.1.20 Floculación

Es el proceso mediante el cual las partículas que se encuentran en un estado de desestabilización se conglomeran para formar microfloculos hasta crear flóculos de un volumen mayor que se encontraran depositados en el fondo de los recipientes que se utilicen en este procedimiento, cabe resaltar que este ocurre luego de que se lleva a cabo la coagulación

(Pérez y Urrea, 2012). Para ello se emplean los floculantes; también denominados como ayudantes de coagulación, los cuales suelen ser definidos como elementos de origen químico que, por su propia naturaleza, logran favorecer la agrupación de las partículas coloidales que han atravesado por el proceso de coagulación en partículas de un mayor volumen (flóculos); asimismo, pueden ser divididos de la siguiente forma: no iónicos, aniónicos y catiónicos (Lee et al., 2014).

#### 2.1.21 Tipos de Floculación

Revolledo (2021), indica que existen los siguientes tipos de Floculación:

- ❖ **Floculación Pericinética** se manifiesta con el movimiento natural de las moléculas de agua y originado por la energía térmica, dicho movimiento se denomina browniano.
- ❖ **Floculación Ortocinética** basada en las colisiones de partículas generadas por el movimiento del agua, el cual es causado por la energía externa al cuerpo de agua, el cual puede ser mecánico o hidráulico.

#### 2.1.22 Planta de tratamiento del Callao [PTAR] Playa Rímac

Es una PTAR que se encuentra ubicado en el cruce de la Av. Elmer Faucett y la Av. 2 de Mayo en la urbanización Playa Rímac del distrito del Callao, teniendo como coordenadas las siguientes  $12^{\circ}02'20.7''S$   $77^{\circ}05'56.2''W$ . Con relación a las características que este posee se destacan las siguientes: capacidad de almacenaje de residuos de 1,200 m<sup>3</sup>, un área constituida por 5000 m<sup>2</sup> y un sistema de tratamiento de tipo biológico Moving Bed Biofilm Reactor [MBBR]. Asimismo, presenta los siguientes elementos que se encuentran en funcionamiento en la actualidad para el proceso de tratamiento de aguas residuales: cámara de bombeo de agua residual cruda, unidad de pretratamiento, reactor biológico, cámara de floculación, unidad de sedimentación, filtros a presión, cloración, y un tanque de efluentes para el agua tratada.

Siguiendo esta línea, resulta importante señalar que en el ámbito de la normativa legal

ambiental vigente, esta planta de tratamiento se encuentra adherida a la autorización provista por la Autoridad Nacional del Agua [ANA] según el Resolución Directoral N° 269-ANA-AAA-CAÑETE-FORTALEZA, con una Certificación Ambiental otorgado por la Dirección Nacional de Saneamiento mediante Resolución Directoral N° 017-2010-VIVIENDAA/MCS-DNS en la Categoría de Declaración de Impacto Ambiental (DIA), y, se encuentra monitoreada por la empresa Capital Water, quienes mencionan como el objetivo principal de esta planta es reusar el agua para el riego de parques, bermas y jardines.

## Figura 2

*Imagen del interior de la Planta de tratamiento del Callao – Playa Rímac*



*Nota.* Capital Water (s.f.).

## 2.2 Marco Conceptual

### 2.2.1 Definición de Términos

- **Aguas residuales domésticas:** son aguas que provienen de complejos residenciales y comerciales, se caracterizan por contener desechos principalmente fisiológicos originados de una gran cantidad de actividades humanas, existe una necesidad constante de que sean tratadas de manera adecuada (OEFA, 2014).
- **Coagulación:** es el procedimiento mediante el cual se busca la desestabilización de

las partículas coloidales mediante el uso de un producto denominado coagulante, el cual se encuentra compuesto por cargas opuestas a los de los sólidos en suspensión (Grupo Acura, 2023).

- **Floculación:** es el procedimiento más utilizado cuando se tiene como objetivo separar las sustancias coloidales que posean una dispersión gruesa en los efluentes; además, se ha empleado también para disgregar y recoger algas (Li et al., 2020).
- **Coagulantes sintéticos:** son coagulantes que tienen como base el aluminio o el hierro, se caracterizan por su óptima relación en cuanto a costo-efectividad, cuando se les añade al agua absorben las impurezas de los efluentes (Jones, 2020).
- **Coagulantes naturales:** son coagulantes que surgen de los productos naturales tales como plantas o cualquier material provisto por la naturaleza, a diferencia de los coagulantes sintéticos estos no consumen alcalinidad ni incrementan la sal en los efluentes (Jones, 2020).
- **Demanda Química de Oxígeno:** es una medida que se basa en caracterizar el volumen del oxígeno requerido para que el proceso de oxidación de la totalidad de la materia orgánica se pueda llevar a cabo en el agua (Lakna, 2017).
- **Demanda Biológica de Oxígeno:** es una medida que se basa en caracterizar el volumen del oxígeno consumido por la bacteria mientras que la materia orgánica se encuentra en un proceso de descomposición en condiciones aeróbicas (Lakna, 2017).
- **Turbiedad:** es un parámetro que colabora con la medición de la claridad del agua y se basa en la evaluación de la habilidad de la luz de atravesar el agua; además, es causada por la materia suspendida (plancton, arcilla, material orgánico, entre otros) (Hassan, 2019).
- **Eficiencia:** hace referencia a la capacidad de llevar a cabo los resultados esperados mediante el uso mínimo de recursos (Real Academia Española, s.f., definición 2).

- **Concentración:** Relación de una sustancia disuelta o contenida en una cantidad dada de otra sustancia (MINAM).
- **Contaminación:** Distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), donde puede ocasionar efectos adversos al ambiente o sobre la salud (MINAM).
- **Dosis:** Cantidad de una sustancia disponible que interactúa con el proceso metabólico o biológico de los receptores una vez que ha cruzado las barreras externas del organismo (MINAM).

### 2.3 Marco Legal Ambiental

- *Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos, del 31 de marzo de 2009*, esta ley tiene por fin normalizar el uso y gestión integrada del agua, la participación del Estado y los privados en dicha gestión, basándose en los principios de valoración del agua, priorizar el acceso al agua, participación de los ciudadanos y cultura del agua, seguridad jurídica, el respeto de los usos de agua por las comunidades campesinas y nativas, sustentabilidad, descentralización, prevención, eficiencia., gestión integrada y tutela jurídica; en este sentido se ha creado el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, siendo la Autoridad Nacional del Agua el ente rector y la máxima autoridad técnico normativa la cual está integrada por el Consejo Directivo, Jefatura, Tribunal de Resolución de Controversias Hídricas, Órganos Desconcentrados denominados Autoridades Administrativas del Agua y Administradores Locales del Agua; y Órganos de Apoyo.
- *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. N° 001-2010 - AG*, en su Artículo 103 trata sobre la protección del agua, indica que, la protección del agua tiene como finalidad la prevención y deterioro de su calidad; proteger y mejorar el estado de los cuerpos naturales y los ecosistemas acuáticos; implantar medidas; específicas para

eliminar o minimizar progresivamente las causas que generan su contaminación y degradación.

- *D.L N° 1083-2008-ANA*. El presente decreto legislativo establece el marco normativo para promover el aprovechamiento racional y la conservación de los recursos hídricos motivando el desarrollo de una cultura de uso responsable entre todos los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica, pública o privada. La ANA, fija los parámetros de eficiencia para el aprovechamiento de los recursos hídricos, los cuales son requisitos máximos y mínimos aplicables a cada tipo y forma de uso del recurso. La ANA brinda Certificados de Eficiencia en la cual consta el uso eficiente, así como Certificados de Creatividad, Innovación e Implementación para la Eficiencia del Uso del Agua.
- *D.S N° 003-2010-MINAM*. La presente norma establece los Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR Domesticas del sector Vivienda, el cual muestra los parámetros a considerar como medios de comparación antes de las descargas.

### **III. MÉTODO**

#### **3.1 Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo aplicada, porque pretende generar nuevos conocimientos a partir de información básica de tal manera que puedan ser aplicados en la vida real para resolver un problema de la sociedad o algún sector productivo, de acuerdo a nuestro objetivo se pretendió encontrar la eficiencia de dos floculantes, uno sintético y otro natural para remover la DQO, DBO y la Turbiedad hasta alcanzar un óptimo, dependiendo de las dosis del floculante utilizado.

El diseño metodológico desde un enfoque o punto de vista cuantitativo es experimental, y por su grado de manipulación de variables se encuentra dentro de los experimentales puros (Hernández et al., 2010), debido a que se manipula intencionalmente la variable independiente “Eficiencia del Cloruro Férrico y Cascara de Maracuyá”, con la finalidad de poder observar los cambios en la variable dependiente “Remoción de DQO, DBO y Turbiedad”.

#### **3.2 Ámbito temporal y espacial**

##### **3.2.1 Ámbito temporal**

El presente trabajo de investigación fue desarrollado durante los meses comprendidos entre julio y diciembre del año 2023, utilizando referencias bibliográficas comprendida entre los años 2009 al 2021. La búsqueda de información se inició en el mes de julio como ya se indicó, y la fase experimental fue desarrollado entre los meses de octubre y noviembre del 2023. La presentación final de la investigación se proyectó entregarlo al término del mes de diciembre del 2023.

##### **3.2.2 Ámbito espacial**

El trabajo de investigación, debido a que es un estudio experimental puro, será desarrollado en dos ámbitos espaciales, el primero está en relación al lugar donde se desarrollará el muestreo de campo o toma de muestra, la PTAR Playa Rímac en el Callao, y el

segundo ámbito espacial se circunscribe al laboratorio de Geografía y Medio Ambiente (LAGEMA) de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la UNFV.

### **3.3 Variables**

- Variable Independiente

Eficiencia del Cloruro Férrico y cascara de Maracuyá.

- Variable Dependiente

Remoción de DQO, DBO y Turbiedad.



**Tabla 4***Operacionalización de Variables de Investigación*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
<b>Variable Independiente</b> Eficiencia del cloruro Férrico y cascara de Maracuyá	Es un tipo de coagulante dentro del grupo a base de hierro que se expresa como FeCl <sub>3</sub> y que logra ser encontrado con gran disposición comercial en estados líquido, cristalino o anhidro; además, en los primeros dos estados tiende a ser considerado como un elemento altamente corrosivo; por lo cual, debe ser tratado de la misma manera que lo sería al tratar con ácido hidroclicórico (Bratby, 2016)	La eficiencia de ambos coagulantes será evaluada en función a los factores que influyen y permiten desarrollar este proceso, los cuales son el tipo y cantidad de coagulante, pH del agua, tiempo de mezcla y floculación, temperatura y agitación, los cuales implican la desestabilización de las partículas coloidales, desestabilización coloidal por reducción del potencial Z y coagulación por arrastre de partículas.	COAGULACIÓN	Dosis (ml) Tiempo (Minutos) Velocidad de Agitación (RPM) Temperatura (°C) pH (Unidad de pH)
<b>Variable Dependiente</b> Remoción de DQO, DBO y Turbiedad	De acuerdo a Chacón y Ramos (2019) el tratamiento fisicoquímico permite la adición de productos químicos, que generan una alteración del estado físico de estas sustancias y permanecen por tiempo indefinido de forma estable, para convertirse en partículas susceptibles de separación por sedimentación o flotación y se puede remover del 80 al 90% de la materia total suspendida, del 40 al 70% de la DBO <sub>5</sub> y del 30 al 40% de la DQO.	Para evaluar la remoción de DQO, DBO y Turbiedad se tomará en cuenta su concentración inicial de trabajo considerado por el investigador, para luego ser sometido a un proceso de tratamiento con floculantes naturales y observar sus nuevos niveles alcanzados, asimismo, tomaremos en cuenta los niveles de eficiencia obtenidos en cada caso.	PARAMETROS FISICOQUIMICOS	Concentración DQO (mg/l) Concentración DBO (mg/l) Concentración de Turbiedad (NTU) Eficiencia (%)

### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1 Población**

La población corresponde a la cantidad o volumen total de efluente generado en la Planta de Tratamiento de aguas residuales-Callao “Playa Rímac” correspondiente a un caudal o capacidad de 1200 m<sup>3</sup>/día.

#### **3.4.2 Muestra**

El volumen de muestra para nuestro ensayo experimental correspondió a un volumen de 30 litros, de los cuales 15 litros corresponden al tratamiento con Cloruro Férrico y 15 litros corresponderán al tratamiento con cascara de Maracuyá. La cantidad mínima de volumen a trabajar fue de 1 Litro por muestra, del cual se obtuvo 5 litros por corrida experimental, e incluyó dos repeticiones, obteniéndose 15 litros por tratamiento.

### **3.5 Instrumentos**

#### **3.5.1 Técnicas**

- Protocolo de monitoreo de aguas residuales domesticas del Ministerio de Vivienda, Construcción y saneamiento.
- Aplicación del Jar Test.
- Manual de bioseguridad de laboratorios de la UNFV.
- Métodos Estandarizados para análisis de aguas naturales y residuales

#### **3.5.2 Instrumentos**

- Ficha de recolección de datos de campo.
- Fichas textuales
- Ficha de observación

#### **3.5.3 Equipos**

- Multiparámetro marca HANNA

- Reactor Digital marca HACH
- Colorímetro Digital marca HACH
- Turbidímetro marca HACH
- Incubadora SHEL LAB
- Floculador programable marca PHILLIPS
- Balanza Analítica marca OHAUS.
- Tamiz N° 80 ASTM
- Estufa de secado eléctrica
- Mortero

### **3.6 Procedimientos**

El procedimiento considerado para el desarrollo de nuestra investigación tomó en cuenta cuatro etapas secuenciales: i) Caracterización del efluente domestico ii) Preparación del Cloruro Férrico y cascara de Maracuyá iii) Ensayos de Jar Test iv) Determinación de DQO, DBO y Turbiedad y; v) Análisis final.

#### **3.6.1 Caracterización del Efluente Domestico**

La investigación se inició con la toma de muestras en la Planta de Tratamiento de “Playa Rímac” en el Callao, para lo cual se tomó en consideración el protocolo del ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento.

En un depósito plástico se tomó la muestra para la medición de los parámetros de campo. En primer lugar, se midió la temperatura de la muestra de agua residual, seguidamente, se realizó la medición de la Temperatura y pH con un multiparámetro marca HANNA, previamente calibrado con los Buffer de 4, 7 y 10.

En segundo lugar, se realizó la medición de la conductividad eléctrica, el cual fue calibrado con las soluciones salinas de Cloruro de Potasio de 0.1 y 0.01 N.

Terminadas las mediciones de campo se procedió a llenar las galoneras de muestras

de agua residual con aproximadamente 15 litros para los primeros ensayos con el coagulante de Cloruro Férrico, y 15 litros adicionales en la segunda toma de muestra con el coagulante a partir de la cascara de Maracuyá.

### **3.6.2 Preparación del Cloruro Férrico y Cascara de Maracuyá**

En los ambientes del laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE, fue preparado el primer coagulante a partir del Cloruro férrico y luego el coagulante a partir de la cascara de Maracuyá.

El proceso se inició con la preparación de una solución de Cloruro Férrico con concentraciones de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 %, los cuales fueron añadidos en una única dosis de 50 ml para cada una de las cinco jarras.

En segundo lugar, para la preparación de la cascara de Maracuyá se realizó un lavado general de la cascara de maracuyá con agua potable y posteriormente con agua destilada.

A continuación, se realizó un secado de la cascara de Maracuyá en la estufa eléctrica por un tiempo de 24 horas a una temperatura promedio de 75°C.

Terminado el tiempo de secado la cascara de Maracuyá fue llevada a un triturador o mortero para reducir su tamaño hasta alcanzar un grano fino.

Culminado el proceso anterior se procedió a realizar un tamizado final de la muestra con el tamiz N° 80.

Posteriormente se procedió a pesar las cantidades del coagulante de acuerdo con las dosis consideradas en la investigación, siendo estas de 5 g, 10 g, 15 g, 20 g y 25 g. en 100 ml de solución.

Habiendo quedado listo el coagulante para el ensayo, se procedió a dejarlos listos para la tercera etapa del procedimiento.

### **3.6.3 Ensayos de Jar Test**

Las pruebas experimentales del tratamiento por coagulación fueron realizadas

mediante el Jar Test o conocido también como prueba de jarras, para lo cual se acondicionaron 5 jarras conteniendo las muestras de agua residual doméstica y un volumen de 1 litro para todos los casos.

En el primer tratamiento se utilizó el Cloruro Férrico, por lo cual se procedió a acondicionar las jarras de acuerdo a cada una de las concentraciones ya preparadas e indicadas en la etapa anterior (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 %) y una dosis única utilizada de 50 ml para cada una de las 5 jarras.

Una vez adicionada cada una de las dosis a las jarras de litro, se procedió a dar una agitación inicial de 50 Revoluciones Por Minuto (RPM) en modo lento por 5 minutos, a fin de lograr una homogenización parcial de toda la muestra.

Terminado el procedimiento anterior, se procedió a realizar una agitación a 200 RPM en modo rápido por 30 minutos, a fin de generar la floculación de las partículas y coloides suspendidos en la muestra.

Seguidamente, se dio un tiempo de sedimentación de 30 minutos, hasta que se observe un clarificado en el sobrenadante.

Finalmente, se tomó una muestra de 200 ml aproximadamente en un frasco plástico para determinar los parámetros de DQO, DBO y Turbiedad.

A fin de alcanzar una mayor precisión de los resultados, se hicieron dos repeticiones adicionales considerando las mismas concentraciones.

El segundo Tratamiento se realizó con el coagulante de cascará de Maracuyá, por lo cual se procedió a acondicionar las jarras de acuerdo a cada una de las concentraciones ya preparadas de acuerdo a la etapa anterior (5, 10, 15, 20 y 25 g) y una dosis única utilizada de 50 ml para cada una de las 5 jarras.

Una vez adicionada cada una de las dosis a las jarras de 1 litro, se procedió a dar una agitación inicial de 50 Revoluciones Por Minuto (RPM) en modo lento por 5 minutos, a fin

de lograr una homogenización parcial de toda la muestra.

Terminado el procedimiento anterior, se procedió a realizar una agitación a 200 RPM en modo rápido por 30 minutos, a fin de generar la floculación de las partículas y coloides suspendidos en la muestra.

Seguidamente, se dio un tiempo de sedimentación de 30 minutos, hasta que se observe un clarificado en el sobrenadante.

Finalmente, se tomó una muestra de 200 ml aproximadamente en un frasco plástico para determinar los parámetros de DQO, DBO y Turbiedad.

A fin de alcanzar una mayor precisión de los resultados, se hicieron dos repeticiones adicionales considerando las mismas concentraciones.

#### **3.6.4 Determinación de DQO, DBO y Turbiedad**

Para la determinación de la **DQO**, primeramente, se procedió a preparar una solución de ácido sulfúrico y sulfato de plata, para luego dejarlo reposar por un tiempo de 24 a 48 horas hasta completar la disolución del soluto.

Posteriormente se preparó una muestra “blanco” que fue nuestra concentración guía “zero” para el uso del colorímetro, empleando agua destilada.

Seguidamente se utilizó una pipeta automática para medir volúmenes de 2.5, 1.5 y 3.5 ml de muestra en viales de 15 ml de capacidad, para ser llevados a medir en el colorímetro.

Se procedió a agregar 2,5 ml de agua residual doméstica al vial de 15 ml de capacidad.

A continuación, se añadió 1,5 ml del reactivo de digestión preparado a partir de una solución de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) en medio ácido.

Seguidamente se añadió 3,5 ml de la solución del reactivo de ácido sulfúrico y sulfato de plata.

Luego se procedió a tapar los viales y se colocaron dentro del reactor para su digestión.

A continuación, se retiraron los viales después de un tiempo de 2 horas de digestión y se procedió a calibrar el colorímetro con el vial conteniendo el “blanco” para luego realizar las mediciones respectivas.

Posteriormente se realizaron 3 lecturas consecutivas para la cuantificación final del parámetro DQO.

Finalmente se realizó el cálculo del promedio de las mediciones obtenidas en las tres lecturas y se procedió a comparar con el LMP sectorial.

Para la determinación de la **DBO**, se preparó una solución tampón de fosfato (8,5 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 21,75 g de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 33,4 g de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , y 1,7 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  para 1 litro de agua desionizada), una solución de Sulfato de Magnesio (22.5 g/l), Cloruro de Calcio (27.5 g/l), Cloruro de Hierro (0.25 g/l).

Seguidamente se preparó un volumen de agua de dilución en un envase de 4 litros aproximadamente y se procedió a adicionar 4 ml de cada uno de los reactivos preparados anteriormente y se llevó a agitarlo y airearlo por 2 horas con una bomba de acuarios.

Se tomaron alícuotas de 10, 20 y 30 ml de agua residual y se llevaron a tres fioles de 1 litro, y se completaron con agua de dilución con agitación posterior.

Seguidamente se llenaron los frascos de Oxígeno Disuelto (Winkler) de 300 ml para el día cero y el día cinco respectivamente.

A continuación, se realizó la medida en los frascos del día cero con el Oxímetro y los frascos del día cinco fueron llevados a la incubadora por el tiempo indicado.

Concluido el tiempo de incubación por cinco días se procedió a medir el Oxígeno Disuelto de cada una de las muestras.

Finalmente se realizó los cálculos respectivos en relación al Oxígeno Disuelto obtenido

en el día cero con el día cinco, tomando en cuenta la diferencia entre ambas concentraciones y divididos entre el volumen diluido para cada alícuota tomada de manera particular.

Para la determinación de la **Turbiedad**, se realizó primeramente la calibración del Turbidímetro, para lo cual se utilizó 5 estándares: <0.1, 20, 200, 1000 y 2000 NTU, para luego proceder a las mediciones de las muestras.

Terminada la calibración con los estándares se procedió a llenar las celdas de medición con cada una de las muestras tratadas y se anotaron las lecturas registradas para cada tratamiento.

### **3.6.5 Análisis Final**

Concluida la determinación de la DQO, DBO y Turbiedad por los métodos ya indicados en el procedimiento, se procedió a evaluar los resultados finales desarrollados en el Jar Test y se analizaron posteriormente cuáles fueron las dosis óptimas para cada uno de los tratamientos aplicados con relación a las diferentes concentraciones iniciales y finales. Por último, se analizó las eficiencias obtenidas de acuerdo a las dosis de los dos coagulantes utilizados para todas las muestras, y con ello finalmente se procedió a obtener los cuadros y graficas respectivas con la finalidad de observar el comportamiento de cada una de las dosis óptimas utilizadas. Con relación a los resultados finales y evaluados se obtuvieron las conclusiones definitivas del presente trabajo de investigación.

### **3.7 Análisis de datos**

Para el análisis de datos cuantitativos se tomó en cuenta los niveles de medición de las variables y se aplicó la estadística que permitió describir las características principales de las variables dependientes e independientes, tomadas individualmente. Se llevó a cabo un análisis y descripción cada una de las variables para lo cual se utilizó el programa Ms. Excel 2010; además se usó para presentar la estadística descriptiva tablas y gráficas de datos y para presentar la distribución de los datos se realizará empleando graficas lineales, todo esto con



el propósito de conocer cuáles fueron las dosis más óptimas y determinar las eficiencias en la remoción de DQO, DBO y Turbiedad por los coagulantes y probar mediante la contratación de las hipótesis.

## IV. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados que fueron obtenidos en base a cada uno de los objetivos propuestos, así tenemos, la Caracterización del efluente doméstico, Determinación de las dosis óptimas y Calculo de las eficiencias de cada uno de los tratamientos aplicados con Bioadsorbente de Maracuyá y Cloruro férrico.

### 4.1 Caracterización del efluente domestico

En la caracterización del efluente domestico se tomó en cuenta los parámetros de Temperatura (T), Potencial de Hidrógenos (pH), Conductividad Eléctrica (CE), Turbiedad, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Solidos Suspendidos Totales y Aceites y Grasa. Es preciso resaltar que los parámetros o indicadores considerados en la presente investigación y con fines de análisis fueron únicamente la DQO, Turbiedad y DBO. Los valores obtenidos fueron comparados con el D.S N° 003-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles para los efluentes domésticos o municipales (PTAR) del sector Vivienda y para el caso de la Turbiedad con el reglamento de la calidad del agua para consumo humano (DS N° 131-2010-SA).

**Tabla 5**

*Caracterización del agua residual doméstica*

MUESTRA	T (°C)	pH	CE (uS/cm)	Turbiedad NTU	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	SST (mg/l)	AyG (mg/l)
M-1	21.1	7.3	458	298	587.2	255.3	181.2	29.4
LMP	< 35	6.5-8.5	-	5	200	100	150	20

De la Tabla 5, se aprecia que los parámetros de Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales y Aceites y Grasa exceden los Límites Máximos Permisibles para efluentes domésticos o municipales (PTAR), así mismo, la Temperatura y pH se encuentran dentro de lo establecido. Para el caso de la Conductividad Eléctrica no cuenta con un LMP.

## 4.2 Determinación de la dosis óptima con el Bioadsorbente y Cloruro Férrico

A continuación, se muestran los resultados de los tratamientos aplicados para ambos coagulantes (Bioadsorbente de cascara de Maracuyá y Cloruro Férrico).

### 4.2.1 Determinación de la dosis óptima con el Bioadsorbente

En las Tablas 6, 7 y 8, se muestran las dosis óptimas para cada una de las Jarras evaluadas las cuales fueron trabajadas con concentraciones de floculante al 5, 10, 15, 20 y 25 % en todos los casos y un volumen único de 50 ml. Los parámetros para evaluar fueron la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Turbiedad y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

#### - Demanda Química de Oxígeno (DQO)

**Tabla 6**

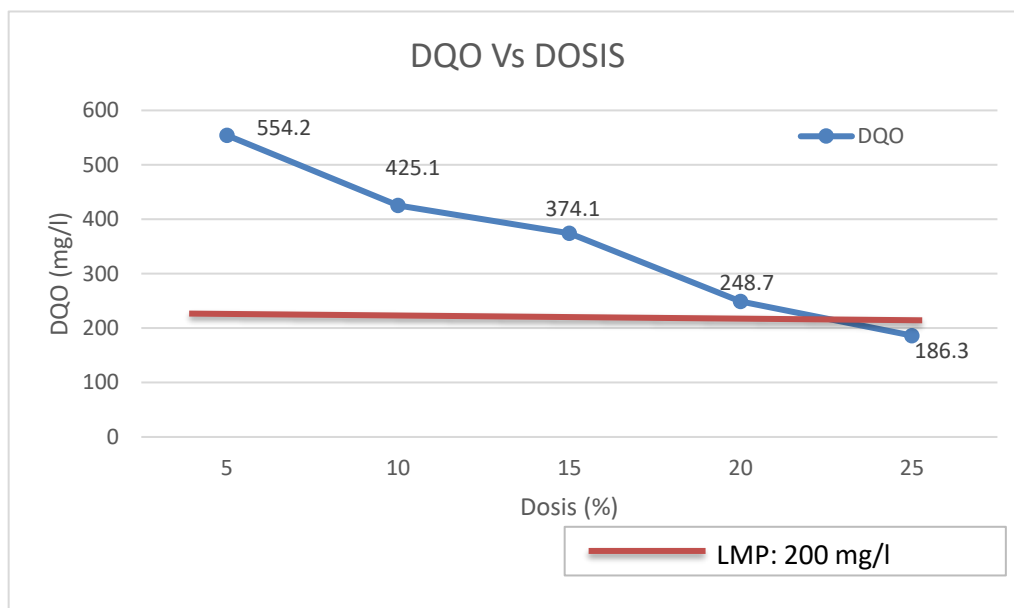
*Concentraciones de DQO final para el Tratamiento 1*

<b>TRATAMIENTO 1</b>	<b>DOSIFICACIÓN</b>				
Dosis Floc. (%)	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>	<b>25%</b>
DQO (mg/l)	<b>587.2</b>				
<b>REPETICIONES</b>	<b>DQO (mg/l)</b>				
1	551.1	429.2	383.6	238.7	185.4
2	554.3	422.6	378.3	245.2	179.3
3	557.2	423.4	361.2	262.1	194.2
<b>PROMEDIO</b>	<b>554.2</b>	<b>425.1</b>	<b>374.4</b>	<b>248.7</b>	<b>186.3</b>

En la Tabla 6, se muestran los promedios finales para cada una de las dosis consideradas en el Tratamiento 1 a base de Bioadsorbente de Maracuyá en la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Es preciso indicar que cada corrida experimental cuenta con dos repeticiones adicionales, obteniéndose un promedio final de las tres corridas, las cuales serán graficadas para observar su comportamiento.

**Figura 3**

*Comportamiento de DQO final para el Tratamiento 1*



De la Figura 3, podemos apreciar que el comportamiento de la DQO se da en forma descendente de acuerdo a las dosis añadidas, así tenemos que partiendo de una concentración inicial de 587.2 mg/l, este se reduce significativamente hasta alcanzar un valor final de 186.3 mg/l con la dosis de 25%, siendo este último valor el que alcanza a estar dentro del Límite Máximo Permissible establecido en 200 mg/l.

#### - **Turbiedad**

**Tabla 7**

*Concentraciones de Turbiedad final para el Tratamiento 1*

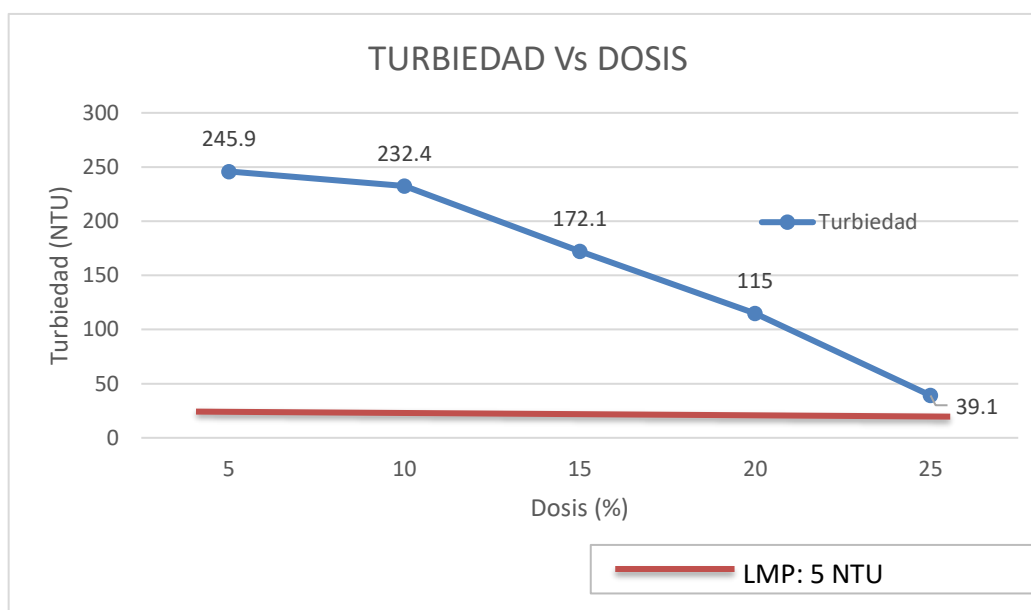
<b>TRATAMIENTO</b>	<b>DOSIFICACIÓN</b>				
<b>1</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>	<b>25%</b>
<b>TURBIEDAD (NTU)</b>	<b>298</b>				
<b>REPETICIONES</b>	<b>TURBIEDAD (NTU)</b>				
1	250.2	231.4	181.5	112.2	44.9
2	245.8	238.6	176.4	118.3	38.7
3	241.6	227.2	158.3	114.4	33.8
<b>PROMEDIO</b>	245.9	232.4	172.1	115.0	39.1

En la Tabla 7, se muestran los promedios finales para cada una de las dosis consideradas

en el Tratamiento 1 a base de Bioadsorbente de Maracuyá en la remoción de la Turbiedad. Es preciso indicar que cada corrida experimental cuenta con dos repeticiones adicionales, obteniéndose un promedio final de las tres corridas, las cuales serán graficadas para observar su comportamiento.

#### Figura 4

*Comportamiento de Turbiedad final para el Tratamiento 1*



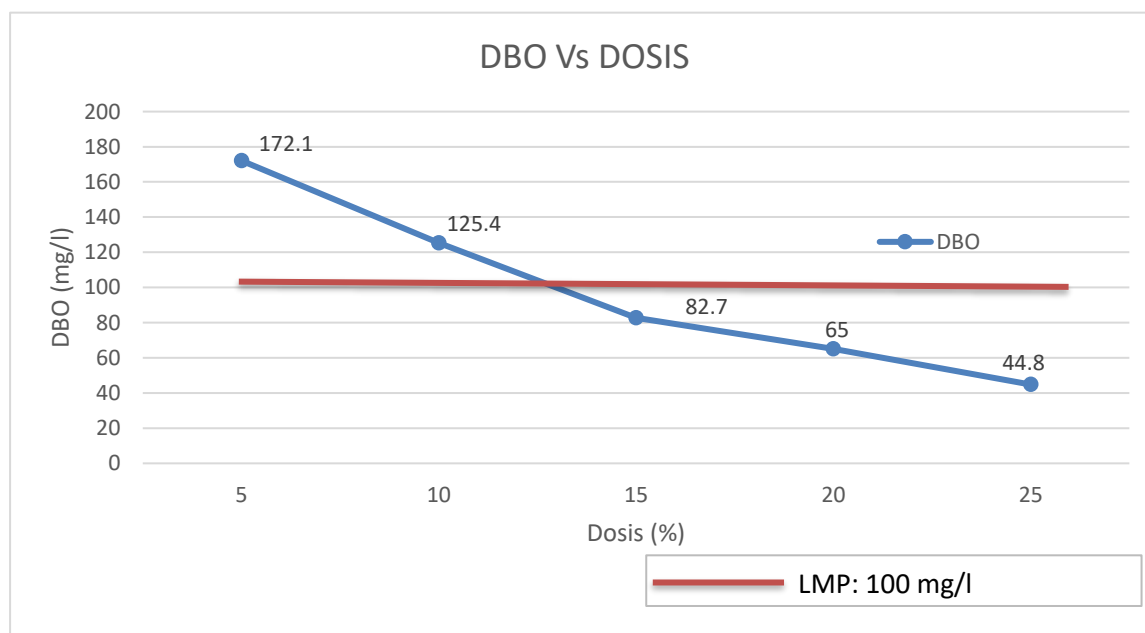
De la Figura 4, podemos apreciar que el comportamiento de la Turbiedad se da en forma descendente de acuerdo a las dosis añadidas, así tenemos que partiendo de una concentración inicial de 298 NTU, este se reduce significativamente hasta alcanzar un valor final de 39.1 NTU con la dosis de 25%. Sin embargo, podemos apreciar que ninguna de las concentraciones llegó a estar por debajo del Límite Máximo Permisible establecido en 5 NTU.

#### - Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

**Tabla 8***Concentraciones de DBO final para el Tratamiento 1*

TRATAMIENTO		DOSIFICACIÓN				
1		5%	10%	15%	20%	25%
Dosis Floc. (%)		5%	10%	15%	20%	25%
DBO (mg/l)		255.3				
REPETICIONES		DBO (mg/l)				
1		170.2	121.4	81.5	62.2	44.9
2		175.1	125.4	86.4	68.3	43.7
3		171.1	129.4	80.3	64.4	45.8
<b>PROMEDIO</b>		172.1	125.4	82.7	65.0	44.8

En la Tabla 8, se muestran los promedios finales para cada una de las dosis consideradas en el Tratamiento 1 a base de Bioadsorbente de Maracuyá en la remoción de la DBO. Es preciso indicar que cada corrida experimental cuenta con dos repeticiones adicionales, obteniéndose un promedio final de las tres corridas, las cuales serán graficadas para observar su comportamiento.

**Figura 5***Comportamiento de DBO final para el Tratamiento 1*

De la Figura 5, podemos apreciar que el comportamiento de la DBO se da en forma descendente de acuerdo a las dosis añadidas, así tenemos que partiendo de una concentración

inicial de 255.3 mg/l, este se reduce significativamente hasta alcanzar un valor final de 44.8 mg/l con la dosis de 25%. Así mismo, podemos apreciar que las dos primeras dosis de 5 y 10%, no logran alcanzar el LMP, mientras que las dosis de 15, 20 y 25% alcanzan el LMP establecido en 100 mg/l.

#### 4.2.2 Determinación de la dosis óptima con Cloruro Férrico

En las Tablas 9, 10 y 11, se muestran las dosis óptimas para cada una de las Jarras evaluadas las cuales fueron trabajadas con concentraciones de floculante al 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 % en todos los casos, y un volumen único de 50 ml. Los parámetros para evaluar fueron la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Turbiedad y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

##### - Demanda Química de Oxígeno (DQO)

**Tabla 9**

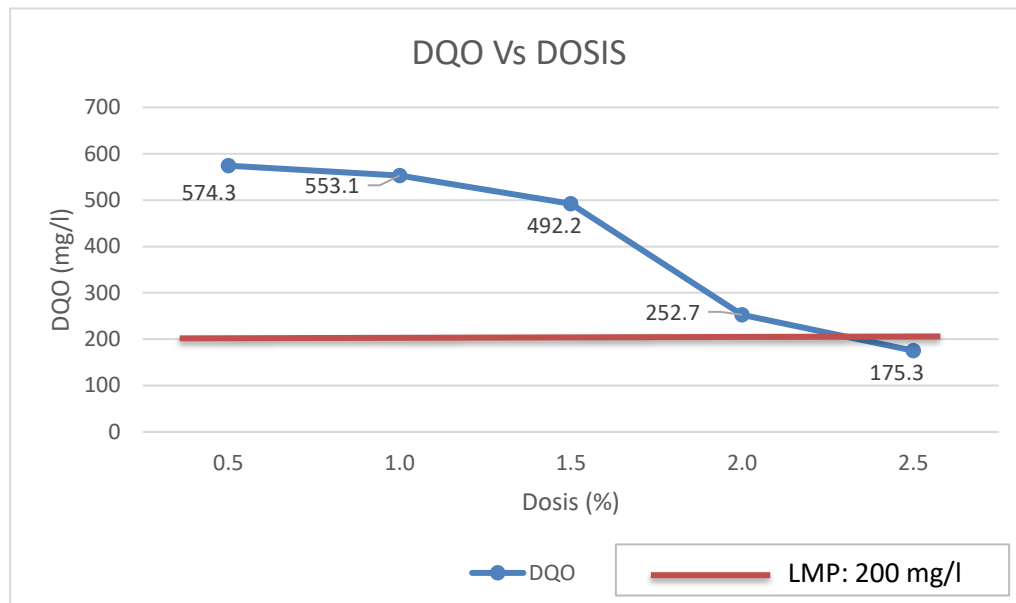
*Concentraciones de DQO final para el Tratamiento 2*

<b>TRATAMIENTO</b>		<b>DOSIFICACIÓN</b>			
<b>2</b>					
Dosis FeCl <sub>3</sub> (%)	<b>0.5%</b>	<b>1.0%</b>	<b>1.5%</b>	<b>2.0%</b>	<b>2.5%</b>
DQO (mg/l)	<b>587.2</b>				
<b>REPETICIONES</b>	<b>DQO (mg/l)</b>				
1	571.4	553.2	492.6	252.3	185.4
2	574.3	552.6	493.3	250.2	172.3
3	577.2	553.4	490.8	255.5	168.2
<b>PROMEDIO</b>	574.3	553.1	492.2	252.7	175.3

En la Tabla 9, se muestran los promedios finales para cada una de las dosis consideradas en el Tratamiento 2 a base de Cloruro Férrico en la remoción de la DQO. Es preciso indicar que cada corrida experimental cuenta con dos repeticiones adicionales, obteniéndose un promedio final de las tres corridas, las cuales serán graficadas para observar su comportamiento.

**Figura 6**

*Comportamiento de DQO final para el Tratamiento 2*



De la Figura 6, podemos apreciar que el comportamiento de la DQO se da en forma descendente de acuerdo a las dosis añadidas, así tenemos que partiendo de una concentración inicial de 587.2 mg/l, este se reduce significativamente hasta alcanzar un valor final de 175.3 mg/l con la dosis de 25%. Así mismo, podemos apreciar que las cuatro primeras dosis de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0%, no logran alcanzar el LMP, mientras que la dosis de 2.5% alcanza el LMP establecido en 200 mg/l.

**Tabla 10**

*Concentraciones de Turbiedad final para el Tratamiento 2*

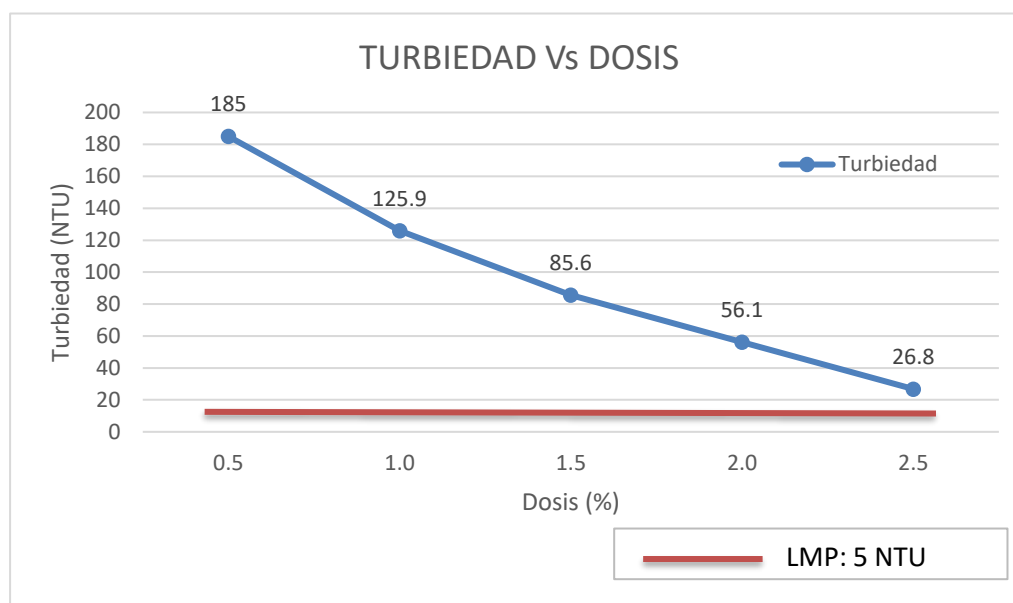
<b>TRATAMIENTO</b>		<b>DOSIFICACIÓN</b>				
<b>2</b>		<b>0.50%</b>	<b>1.0%</b>	<b>1.5%</b>	<b>2.0%</b>	<b>2.5%</b>
<b>TURBIEDAD (NTU)</b>		<b>298</b>				
<b>REPETICIONES</b>		<b>TURBIEDAD (NTU)</b>				
1		185.5	128.7	88.1	59.1	26.4
2		181.1	125.4	85.4	57.7	24.4
3		188.3	123.5	83.2	51.6	29.5
<b>PROMEDIO</b>		185.0	125.9	85.6	56.1	26.8



En la Tabla 10, se muestran los promedios finales para cada una de las dosis consideradas en el Tratamiento 2 a base de Cloruro Férrico en la remoción de la DQO. Es preciso indicar que cada corrida experimental cuenta con dos repeticiones adicionales, obteniéndose un promedio final de las tres corridas, las cuales serán graficadas para observar su comportamiento.

### Figura 7

#### Comportamiento de Turbiedad final para el Tratamiento 2



De la Figura 7, podemos apreciar que el comportamiento de la Turbiedad se da en forma descendente de acuerdo a las dosis añadidas, así tenemos que partiendo de una concentración inicial de 298 NTU, este se reduce significativamente hasta alcanzar un valor final de 26.8 NTU con la dosis de 25%. Sin embargo, podemos apreciar que ninguna de las concentraciones llegó a estar por debajo del Límite Máximo Permisible establecido en 5 NTU.

**Tabla 11**

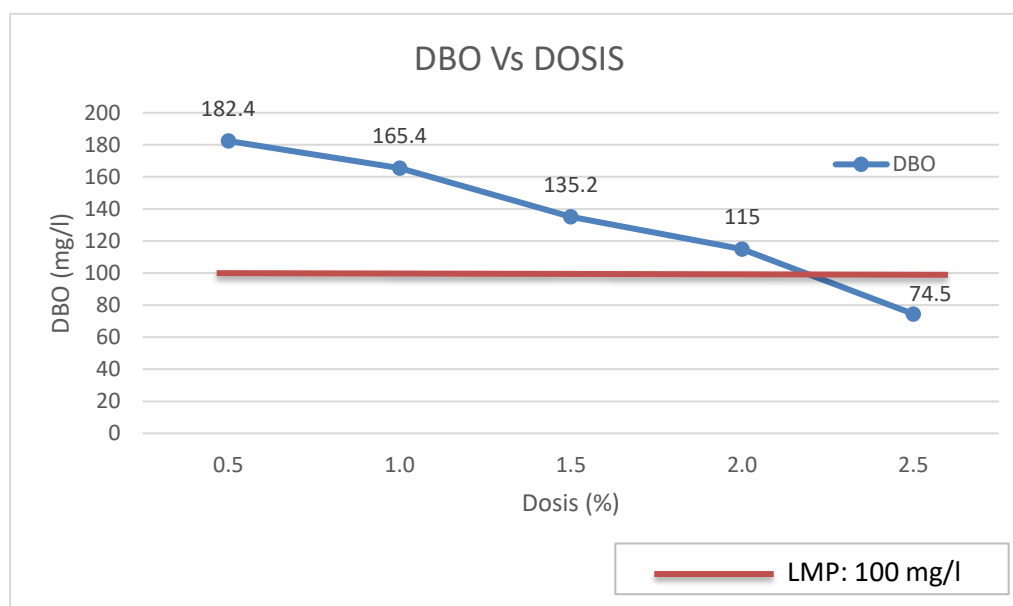
*Concentraciones de DBO final para el Tratamiento 2*

<b>TRATAMIENTO</b>		<b>DOSIFICACIÓN</b>				
<b>2</b>						
Dosis FeCl <sub>3</sub> (%)	<b>0.5%</b>	<b>1.0%</b>	<b>1.5%</b>	<b>2.0%</b>	<b>2.5%</b>	
DBO (mg/l)	<b>255.3</b>					
<b>REPETICIONES</b>	<b>DBO (mg/l)</b>					
1	180.2	161.4	131.1	112.2	74.2	
2	185.1	165.3	136.2	118.3	73.6	
3	181.8	169.4	138.3	114.6	75.7	
<b>PROMEDIO</b>	182.4	165.4	135.2	115.0	74.5	

En la Tabla 11, se muestran los promedios finales para cada una de las dosis consideradas en el Tratamiento 2 a base de Cloruro Férrico en la remoción de la DBO. Es preciso indicar que cada corrida experimental cuenta con dos repeticiones adicionales, obteniéndose un promedio final de las tres corridas, las cuales serán graficadas para observar su comportamiento.

**Figura 8**

*Comportamiento de Turbiedad final para el Tratamiento 2*



De la Figura 8, podemos apreciar que el comportamiento de la DBO se da en forma

descendente de acuerdo a las dosis añadidas, así tenemos que partiendo de una concentración inicial de 255.3 mg/l, este se reduce significativamente hasta alcanzar un valor final de 74.5 mg/l con la dosis de 2.5%. Así mismo, podemos apreciar que las cuatro primeras dosis de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0%, no logran alcanzar el LMP, mientras que la dosis de 2.5% alcanzan el LMP establecido en 100 mg/l.

### 4.3 Determinación de las Eficiencias con el Bioadsorbente y Cloruro Férrico

A continuación, se muestran los resultados de las eficiencias obtenidas en los tratamientos aplicados para ambos coagulantes (Bioadsorbente de cascara de Maracuyá y Cloruro Férrico).

#### 4.3.1 Bioadsorbente de Maracuyá

En las Tablas 12, 13 y 14, se muestran las eficiencias para cada una de las Jarras evaluadas las cuales fueron trabajadas con concentraciones de floculante al 5, 10, 15, 20 y 25 % en todos los casos. Los parámetros para evaluar fueron la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Turbiedad y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

**Tabla 12**

*Eficiencia de DQO final para el Tratamiento 1*

TRATAMIENTO 1		DOSIFICACIÓN			
DOSIS	5%	10%	15%	20%	25%
DQO (mg/l)	587.2	587.2	587.2	587.2	587.2
REPLICAS	DQO (mg/l)				
PROMEDIO	554.2	425.1	374.4	248.7	186.3
<b>Eficiencia (%)</b>	<b>5.6</b>	<b>27.6</b>	<b>36.2</b>	<b>57.6</b>	<b>68.3</b>

De la Tabla 12, se tiene que las eficiencias van mejorando con el aumento de la dosificación del bioadsorbente de Maracuyá, se aprecia una remoción importante del parámetro DQO, llegando hasta un 68.3% de eficiencia final de acuerdo a la última dosis añadida del coagulante.

**Tabla 13***Eficiencia de Turbiedad final para el Tratamiento 1*

<b>TRATAMIENTO 1</b>		<b>DOSIFICACIÓN</b>				
DOSIS		5%	10%	15%	20%	25%
TURBIEDAD (NTU)		298	298	298	298	298
<b>REPLICAS</b>		<b>TURBIEDAD (NTU)</b>				
<b>PROMEDIO</b>		245.9	232.4	172.1	115.0	39.1
<b>Eficiencia (%)</b>		<b>17.5</b>	<b>22.0</b>	<b>42.2</b>	<b>61.4</b>	<b>86.9</b>

De la Tabla 13, se tiene que las eficiencias van mejorando con el aumento de la dosificación del bioadsorbente de Maracuyá, se aprecia una remoción importante del parámetro Turbiedad, llegando hasta un 86.9% de eficiencia final de acuerdo a la última dosis añadida del coagulante.

**Tabla 14***Eficiencia de DBO final para el Tratamiento 1*

<b>TRATAMIENTO 1</b>		<b>DOSIFICACIÓN</b>				
DOSIS		5%	10%	15%	20%	25%
DBO (mg/l)		225.3	225.3	225.3	225.3	225.3
<b>REPLICAS</b>		<b>DBO (mg/l)</b>				
<b>PROMEDIO</b>		172.1	125.4	82.7	65.0	44.8
<b>Eficiencia (%)</b>		<b>23.6</b>	<b>44.3</b>	<b>63.3</b>	<b>71.2</b>	<b>80.1</b>

De la Tabla 14, se tiene que las eficiencias van mejorando con el aumento de la dosificación del bioadsorbente de Maracuyá, se aprecia una remoción importante del parámetro DBO, llegando hasta un 80.1% de eficiencia final de acuerdo a la última dosis añadida del coagulante.

#### **4.3.2 Bioadsorbente de Cloruro Férrico**

En las Tablas 15, 16 y 17, se muestran las eficiencias para cada una de las Jarras

evaluadas las cuales fueron trabajadas con concentraciones de floculante al 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 % en todos los casos. Los parámetros para evaluar fueron la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Turbiedad y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

**Tabla 15**

*Eficiencia de DQO final para el Tratamiento 2*

<b>TRATAMIENTO 2</b>		<b>DOSIFICACIÓN</b>			
DOSIS	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%
DQO (mg/l)	587.2	587.2	587.2	587.2	587.2
<b>REPLICAS</b>		<b>DQO (mg/l)</b>			
<b>PROMEDIO</b>	574.3	553.1	492.2	252.7	175.3
<b>Eficiencia (%)</b>	<b>2.2</b>	<b>5.8</b>	<b>16.2</b>	<b>57.0</b>	<b>70.1</b>

De la Tabla 15, se tiene que las eficiencias van mejorando con el aumento de la dosificación de Cloruro Férrico, se aprecia una remoción importante del parámetro DQO, llegando hasta un 70.1% de eficiencia final de acuerdo a la última dosis añadida del coagulante.

**Tabla 16**

*Eficiencia de Turbiedad final para el Tratamiento 2*

<b>TRATAMIENTO 2</b>		<b>DOSIFICACIÓN</b>			
DOSIS	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%
TURBIEDAD (NTU)	398	398	398	398	398
<b>REPLICAS</b>		<b>TURBIEDAD (NTU)</b>			
<b>PROMEDIO</b>	185.0	125.9	85.6	56.1	26.8
<b>Eficiencia (%)</b>	<b>53.5</b>	<b>68.4</b>	<b>78.5</b>	<b>85.9</b>	<b>93.3</b>

De la Tabla 16, se tiene que las eficiencias van mejorando con el aumento de la dosificación de Cloruro Férrico, se aprecia una remoción importante del parámetro Turbiedad, llegando hasta un 93.3% de eficiencia final de acuerdo a la última dosis añadida del coagulante.

**Tabla 17***Eficiencia de DBO final para el Tratamiento 2*

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>DOSIFICACIÓN</b>				
<b>2</b>					
<b>DOSIS</b>	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%
<b>DBO (mg/l)</b>	225.3	225.3	225.3	225.3	225.3
<b>REPLICAS</b>	<b>DBO (mg/l)</b>				
<b>PROMEDIO</b>	182.4	165.4	135.2	115.0	74.5
<b>Eficiencia (%)</b>	<b>19.1</b>	<b>26.6</b>	<b>40.0</b>	<b>48.9</b>	<b>66.9</b>

De la Tabla 17, se tiene que las eficiencias van mejorando con el aumento de la dosificación de Cloruro Férrico, se aprecia una remoción importante del parámetro DBO, llegando hasta un 66.9% de eficiencia final de acuerdo a la última dosis añadida del coagulante.

#### **4.4 Análisis Estadístico**

Para analizar estadísticamente si los resultados obtenidos en los tratamientos aplicados para ambos coagulantes (Bioadsorbente de cascara de Maracuyá y Cloruro Férrico) en aguas residuales son estadísticamente significativos se agrupan los resultados para poder analizarlos

**Tabla 18***Agrupación de datos para análisis estadísticos respectivo*

<b>Tratamiento</b>	<b>Dosis</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Concentración inicial</b>	<b>Concentración final</b>	<b>Eficiencia de remoción</b>
T1	D1	DQO	587.2	554.2	5.6
T1	D2	DQO	587.2	425.1	27.6
T1	D3	DQO	587.2	374.4	36.2
T1	D4	DQO	587.2	248.7	57.6
T1	D5	DQO	587.2	186.3	68.3
T1	D1	TURBIEDAD	298	245.9	17.5
T1	D2	TURBIEDAD	298	232.4	22.0
T1	D3	TURBIEDAD	298	172.1	42.2
T1	D4	TURBIEDAD	298	115	61.4
T1	D5	TURBIEDAD	298	39.1	86.9
T1	D1	DBO	225.3	172.1	23.6
T1	D2	DBO	225.3	125.4	44.3
T1	D3	DBO	225.3	82.7	63.3
T1	D4	DBO	225.3	65	71.1
T1	D5	DBO	225.3	44.8	80.1
T2	D1	DQO	587.2	574.3	2.2
T2	D2	DQO	587.2	553.1	5.8
T2	D3	DQO	587.2	492.2	16.2
T2	D4	DQO	587.2	252.7	57.0
T2	D5	DQO	587.2	175.3	70.1
T2	D1	TURBIEDAD	298	185	37.9
T2	D2	TURBIEDAD	298	125.9	57.8
T2	D3	TURBIEDAD	298	85.6	71.3
T2	D4	TURBIEDAD	298	56.1	81.2
T2	D5	TURBIEDAD	298	26.8	91.0
T2	D1	DBO	225.3	182.4	19.0
T2	D2	DBO	225.3	165.4	26.6
T2	D3	DBO	225.3	135.2	40.0
T2	D4	DBO	225.3	115	48.96
T2	D5	DBO	225.3	74.5	66.9

*Nota.* Elaboración propia.

Teniendo este ordenamiento de datos se procede a aplicar el Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) para comprobar la significancia de los tratamientos aplicados con Bioadsorbente de cascara de Maracuyá y Cloruro Férrico en aguas residuales

➤ **Prueba de Normalidad**

Para poder aplicar adecuadamente esta prueba se tiene que verificar en los residuos del resultante (de los resultados obtenidos) si los datos provienen de una distribución normal o no para lo cual se plantean los siguientes supuestos:

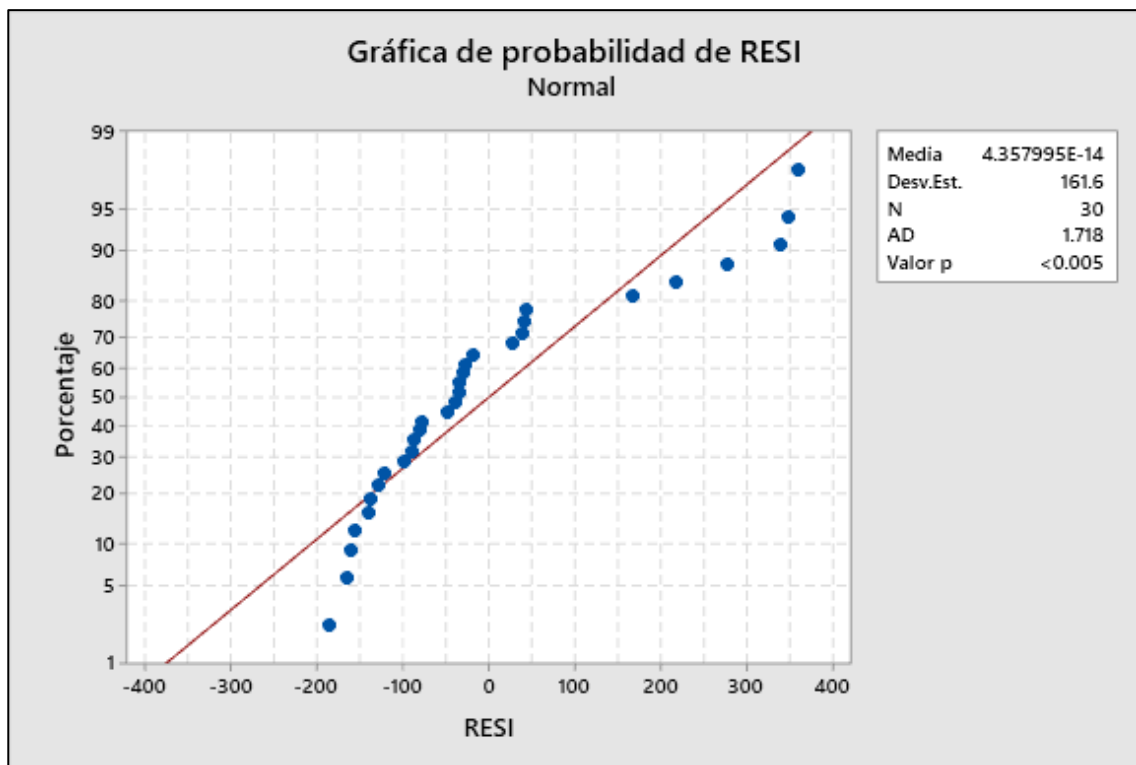
$H_0$  : Los residuos provienen de una distribución normal

$H_a$  : Los residuos no provienen de una distribución normal

Para ello se hace la prueba de normalidad Anderson Darling (AD)

### Figura 9

*Resultados de la prueba de normalidad AD*



*Nota.* Elaborado en MINITAB versión 19.

Por lo que se desprende que con un  $AD = 1.718$  y un Valor  $p < 0.005$  que es menor al Valor  $p$  de la investigación (0.05) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna por lo cual con una significancia del 5% se concluye que los residuos agrupados no provienen de una distribución normal, para lo cual el DCA será desarrollado para datos no paramétricos.



➤ **Homogeneidad de Varianzas**

Para ellos se desprenden los siguientes supuestos:

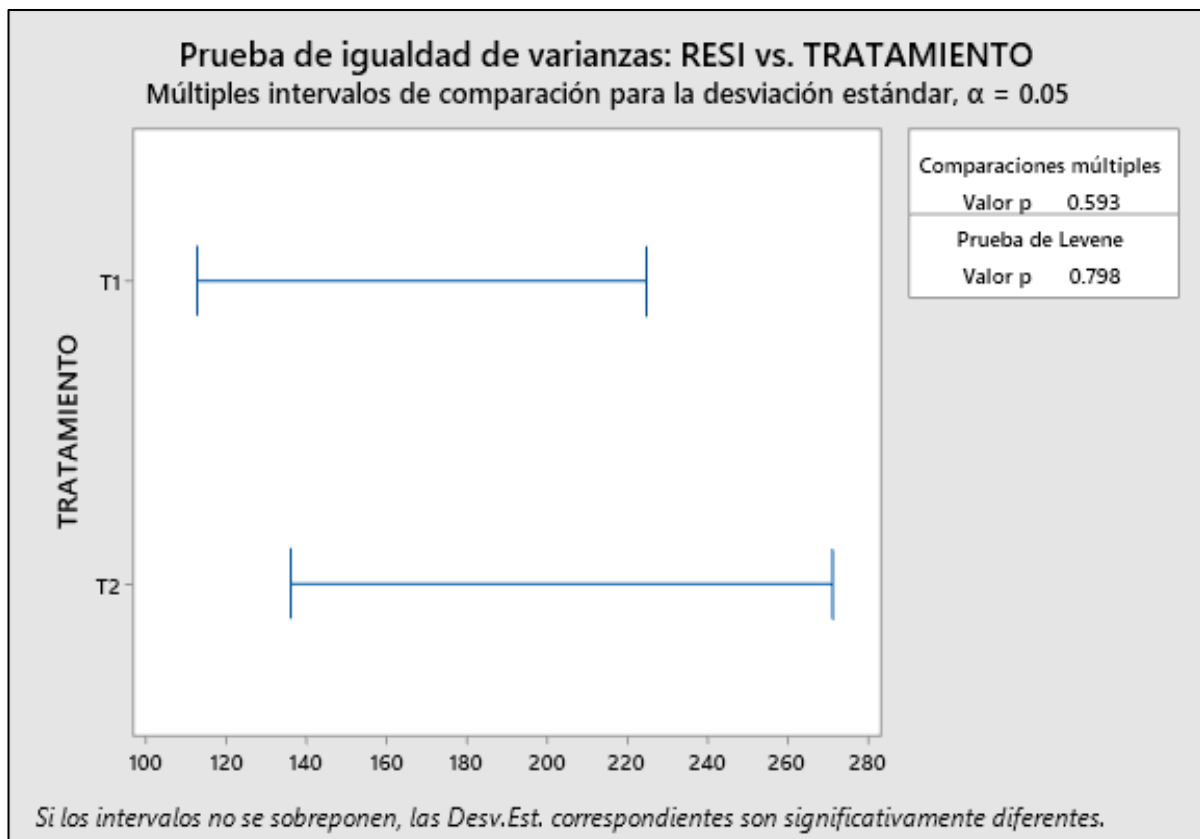
$H_0$  : Las varianzas son iguales

$H_a$  : Al menos una varianza es diferente

Tomando en cuenta que los datos son no paramétricos por no provenir de una distribución normal se aplicara la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para lo cual se ha obtenido:

**Figura 10**

*Resultado de aplicación de prueba de homogeneidad de varianzas de datos no paramétricos*



*Nota.* Elaborado en MINITAB versión 19.

De lo cual con resultado de la prueba de Levene de 0.07 y un Valor p = 0.798 que es mayor al valor p de la investigación (0.05) por lo cual se acepta la hipótesis nula y se rechaza la

hipótesis alterna, es decir con una significancia de 5% se comprueba que existe homogeneidad de varianzas en los datos analizados.

➤ **Verificación estadística de la efectividad de los tratamientos aplicados usando bioadsorbente a base de cascara de maracuyá y usando Cloruro Férrico**

Para desarrollar este proceso de plantean las siguientes hipótesis:

$H_0$  : Los tratamientos aplicados no presentan diferencias significativas a la hora de remover DQO, Turbiedad y DBO

$H_a$  : Por lo menos un tratamiento presenta diferencia significativa a la hora de remover DQO, Turbiedad y DBO

Para verificar este cuál de los supuestos son aplicables se realiza la prueba no paramétrica Kruskal- Wallis que me permite verificar la significancia de los tratamientos aplicados específicamente para remover turbidez en aguas residuales de lo cual se tiene:

**Tabla 19**

*Estadísticas Descriptivas analizadas para prueba Kruskal-Wallis*

TRATAMIENTO	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
T1	15	172.1	15.6	0.08
T2	15	165.4	15.4	-0.08
General	30		15.5	
T1	15	172.1	15.6	0.08

*Nota.* Elaborado en MINITAB versión 19

Para lo cual se realizó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis de lo cual se desprende que:

**Tabla 20**

*Resultados de la prueba Kruskal-Wallis*

GL	Valor H	Valor p
1	0.01	0.934

*Nota.* Elaborado en MINITAB versión 19.

Comprobando con la Prueba Kruskal-Wallis (H) un valor de 0.01 y Valor p mayor al Valor p de la investigación (0.05) por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna por lo cual Los tratamientos aplicados no presentan diferencias significativas a la hora de remover DQO, Turbiedad y DBO pero existe uno más eficiente en la remoción de estos parámetros.

### ➤ Prueba de Comparación de Tukey

**Tabla 21**

*Resultados de la prueba de comparación Tukey*

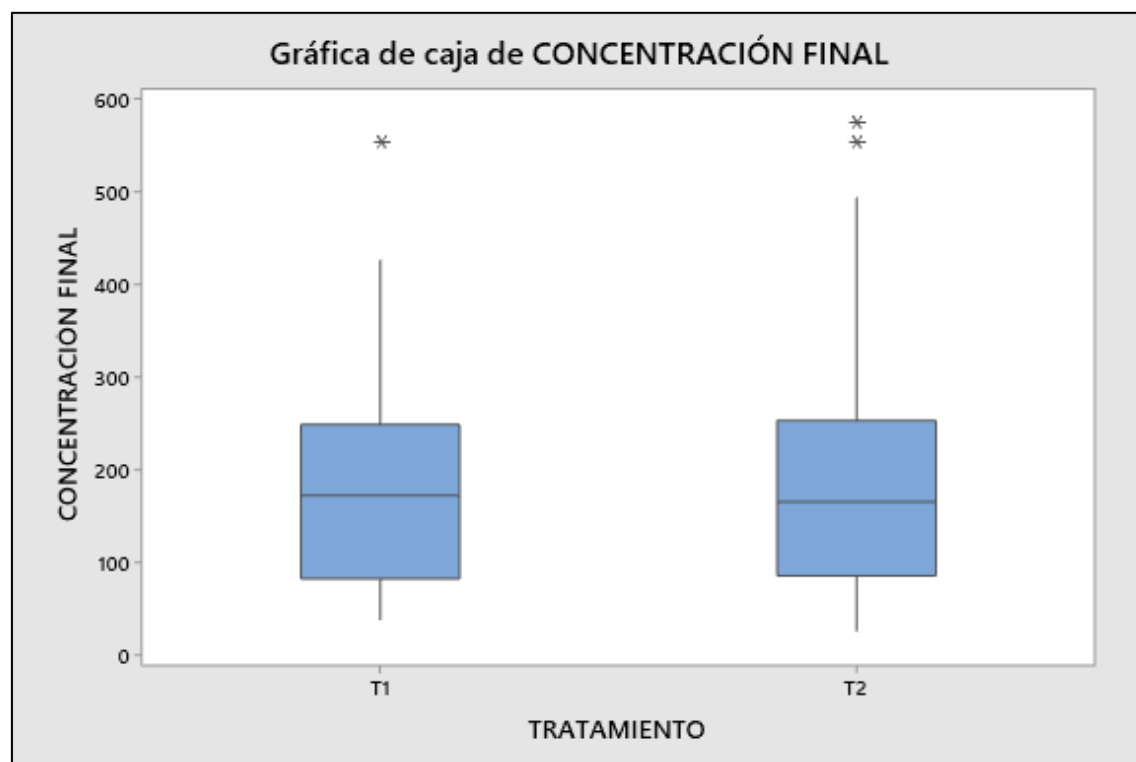
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T2	15	213.300	A
T1	15	205.547	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

*Nota.* Elaborado en MINITAB versión 19.

**Figura 11**

*Comparación de resultados usando prueba Tukey*

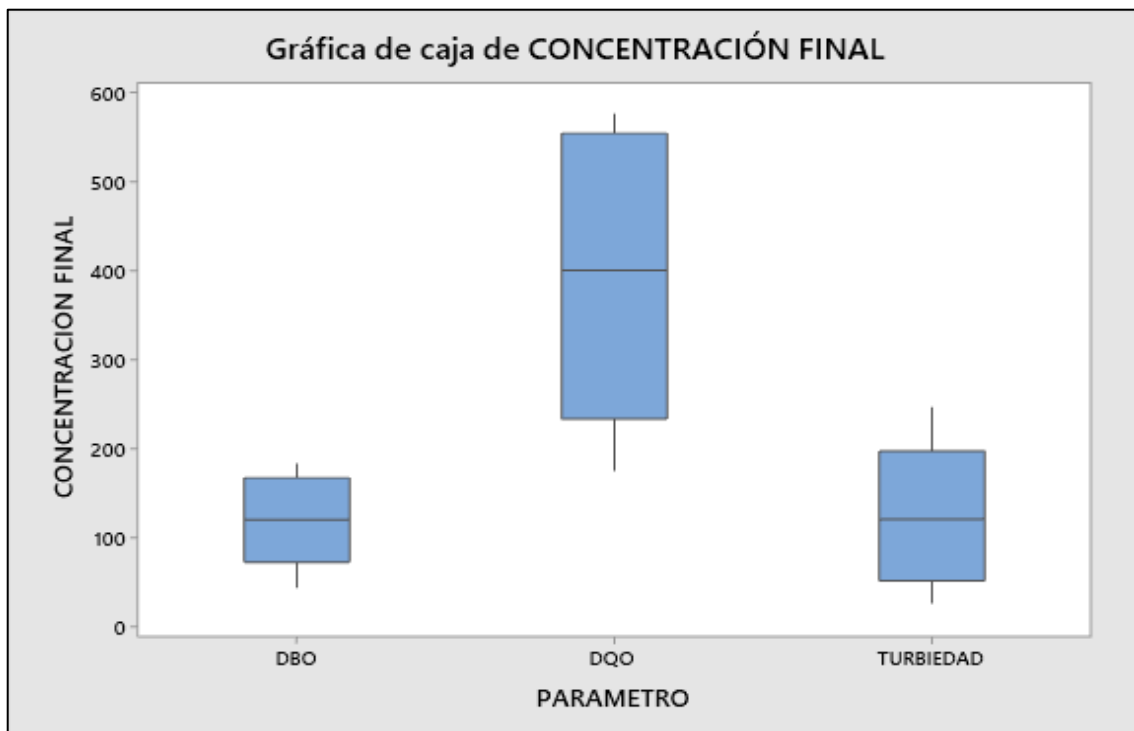


*Nota.* Elaborado en MINITAB versión 19.

De la siguiente prueba se puede observar que las medias son estadísticamente iguales, pero se comprueba que la media del Tratamiento 2 es más eficiente porque presenta concentraciones ligeramente menores a la hora de remover los parámetros DQO, Turbidez y DBO.

### Figura 12

*Comparación de resultados usando prueba Tukey Concentración Final vs parámetro*



*Nota.* Elaborado en MINITAB versión 19.

En la figura se muestra que la DBO en los tratamientos es la que mayor remoción presenta seguido de la turbiedad y DQO en ambos tratamientos.

En base a lo determinado se tiene lo siguiente:

**Tabla 22***Resultados de eficiencia de tratamientos según análisis*

<b>Tratamiento</b>	<b>Dosis</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Concentración inicial (mg/l-NTU)</b>	<b>Concentración final (mg/l-NTU)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
T2	D5	DQO	587.2	175.3	70.1
T2	D5	TURBIEDAD	298	26.8	91.0
T1	D5	DBO	225.3	44.8	80.1

*Nota.* Elaboración propia.

De lo que se observa que el tratamiento 2: Tratamiento aplicando cloruro férrico como adsorbente es el más eficiente tanto en DQO como en turbiedad y en DBO es el tratamiento 1: tratamiento aplicando bioadsorbente a base de cascara de maracuyá a dosis 5: dosis de 25% de concentración de adsorbente/bioadsorbente

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Kalavathy et. al (2017), en su artículo científico indican que la coagulación en combinación con la floculación y la sedimentación son procesos que se emplean en el tratamiento de aguas para eliminar contaminantes indeseables, en el proceso emplearon cloruro férrico y alumbre, a fin de determinar sus capacidades y reducir la turbidez de sus muestras de agua. En esta investigación realizaron pruebas de jarra para optimizar la dosis de coagulante y estudiar el efecto del alumbre y el cloruro férrico en parámetros fisicoquímicos como pH, CE, TDS, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, Cl y Alcalinidad, obteniendo como resultados que el proceso de coagulación podría eliminar la turbidez de manera efectiva utilizando alumbre y cloruro férrico probados dentro del rango de dosis (50-100 mg/L). Se observó también que la eliminación de la turbidez depende del pH, la dosis de coagulante y la turbidez inicial del lago para ambos coagulantes utilizados. Concluyéndose que la mayor eficiencia de eliminación de turbidez estuvo dentro del 66-76 % para el alumbre y del 71-80 % para el cloruro férrico en el rango de dosis aplicada; ambos coagulantes utilizados demostraron un rendimiento prometedor en la eliminación de turbidez de la muestra tratada. De los resultados obtenidos en nuestra investigación con relación a la Turbiedad, se pudo apreciar que al trabajar con Cloruro Férrico a una dosis de 2.5% se obtuvo una eficiencia de 93.3%, reduciéndose la concentración inicial de 298 hasta 26.8 NTU, sin embargo, con dicho valor no se llegó alcanzar el Límite Máximo Permisible normado en 5 NTU. Con relación a los parámetros de Temperatura y pH fueron trabajados con valores iniciales de 21.1 °C y 7.3 respectivamente, los cuales fueron únicamente caracterizados mas no se manipularon sus valores iniciales.

Hoang Le et al. (2020), en su investigación, plantearon determinar la eliminación de turbidez y otros contaminantes de aguas residuales de tintes mediante mucílago extraído de la cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) y su efecto en la reducción del cloruro de polialuminio (PACl) químico sintético utilizado en el proceso de coagulación y floculación

(CF). La eliminación de la turbidez en un proceso de Coagulación – Floculación utilizando Polialuminio y mucílago GDE fruta del dragón se investigó basándose en pruebas jarras. Las eficiencias máximas de coagulación del polialuminio se observaron típicamente a pH 4,0-6,0 y concentraciones de 100-150 mg/L dependiendo de los tipos de aguas residuales, mientras que los tiempos de sedimentación óptimos fueron de 30-60 minutos, respectivamente. La adición de mucílago de pitahaya (0,5-50 mg/L) después de polialuminio (75-245 mg/L) dio como resultado eficiencias de eliminación de turbidez de hasta el 95%. Se demostró que la adición de mucílago extraído de las cáscaras de pitahaya aumenta la eficiencia de eliminación de turbidez y disminuye el uso de PACl. El aumento de la eliminación de turbidez a menudo se estimaba entre un 10 y un 32 %, mientras que el polialuminio utilizado era aproximadamente entre un 3 y un 10% menos en comparación con el polialuminio total necesario para obtener una eficiencia comparable cuando se utiliza solo. La investigación desarrollada en el presente trabajo utilizó bioadsorbente a partir de la cascara de Maracuyá y Cloruro Férrico de manera independiente, ambos tratamientos fueron trabajados con un pH inicial de 7.3 y una Temperatura de 21.1 °C, 200 RPM y un tiempo de agitación y sedimentación de 30 minutos. Los resultados obtenidos en función de la Turbiedad mostraron que al trabajar con Bioadsorbente de Maracuyá con una dosis de 25% se obtuvo una eficiencia de 86.9%, reduciéndose la concentración inicial de 298 hasta 39.1 NTU, para el caso del Cloruro Férrico a una dosis de 2.5% se obtuvo una eficiencia de 93.3%, reduciéndose la concentración inicial de 298 hasta 26.8 NTU, sin embargo, con dicho valor no se llegó alcanzar el Límite Máximo Permisible normado en 5 NTU para ninguno de los dos tratamientos.

Flórez et. al. (2017), en su investigación emplearon sales de aluminio y hierro como agentes coagulantes para la remoción química de materia orgánica y sedimentos, con la finalidad de evaluar la eficiencia del Cloruro Férrico y Sulfato de Aluminio como agente coagulante – floculante en la remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas. La

eficiencia del sistema de coagulación - floculación en las aguas residuales municipales con elevado contenido de materia orgánica, se evaluó usando como indicadores la DQO, SST y Biomasa algal en las muestras de agua antes y después de este tratamiento, obteniéndose como resultados para  $\text{FeCl}_3$  porcentajes de remoción de 77.13% en la DQO, 91.03% para SST y 96.22% para las Algas; mientras que para el  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  se alcanzó porcentajes de remoción de 76.36% para la DQO, 88.47% SST y 90.34% para Algas. Concluyéndose que el coagulante con mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica para las aguas residuales municipales fue el  $\text{FeCl}_3$ , sin despreciar que el  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  logró óptimos resultados. Con relación a nuestro trabajo de investigación los resultados obtenidos con  $\text{FeCl}_3$  mostraron una reducción de la DQO de 587.2 mg/l hasta 175.3 mg/l y DBO de 255.3 mg/l hasta 74.5 mg/l, utilizando la dosis de 2.5%, obteniéndose eficiencias del 70.1 y 66.9 % respectivamente, en ambos casos se logró alcanzar el Límite Máximo Permisible. Para el caso de la Turbiedad utilizando una dosis de 2.5% se obtuvo una eficiencia de 93.3%, reduciéndose la concentración inicial de 298 hasta 26.8 NTU, sin embargo, con dicho valor no se llegó alcanzar el Límite Máximo Permisible normado en 5 NTU.



## VI. CONCLUSIONES

- 6.1 De acuerdo a nuestro primer objetivo específico se concluye que los parámetros Demanda Química de Oxígeno (587.2 mg/l), Demanda Bioquímica de Oxígeno (255.3 mg/l), Sólidos Suspendidos Totales (181.2 mg/l) y Aceites y Grasa (29.4 mg/l) exceden los Límites Máximos Permisibles para efluentes domésticos o municipales (PTAR), así mismo, la Temperatura (21.1 °C) y pH (7.3) se encuentran dentro de lo establecido. Para el caso de la Conductividad Eléctrica (458 uS/cm) no cuenta con un LMP.
- 6.2 De acuerdo al segundo objetivo específico se concluye que la dosis óptima con bioadsorbente de Maracuyá para la DQO y DBO fue de 25%, reduciendo su concentración de 587.2 hasta 186.3 mg/l y de 255.3 hasta 44.8 mg/l respectivamente, mientras que para la turbiedad con la misma dosis optima de 25% redujo su concentración de 298 hasta 39.1 NTU, así mismo, con Cloruro férrico la dosis óptima para la DQO y DBO fue de 2.5%, reduciendo su concentración de 587.2 hasta 175.3 mg/l y de 255.3 hasta 74.5 mg/l respectivamente, mientras que para la turbiedad con la misma dosis optima de 2.5% redujo su concentración de 298 hasta 26.8 NTU, para ambos tratamientos la DQO y DBO estuvo por debajo del LMP, mientras que para la Turbiedad no se alcanzó estar por debajo del LMP.
- 6.3 Del tercer objetivo específico se concluye que las eficiencias para el tratamiento con bioadsorbente de Maracuyá alcanzaron para la DQO, DBO y Turbiedad valores de 68.3, 80.1 y 86.9% respectivamente, mientras que el Cloruro Férrico alcanzó eficiencias para la DQO, DBO y Turbiedad en el orden del 70.1, 66.9 y 93.3% respectivamente.

## VII. RECOMENDACIONES

- 7.1 Se recomienda utilizar la técnica Jar Test desarrollada en el presente trabajo de investigación, la cual ha demostrado ventajas comparativas para encontrar las dosis ideales a fin de mejorar la calidad del agua con el menor costo posible.
- 7.2 Se recomienda variar los parámetros de operatividad en la Prueba de Jarras como el volumen, tiempo, revoluciones, dosis y temperatura, a fin de conocer el efecto de estos sobre los resultados finales de su eficiencia.
- 7.3 Se recomienda el uso de la Prueba de Jarras como método para el tratamiento de aguas residuales domesticas que contengan elevadas concentraciones de materia orgánica cualtambién puede ser aplicado en efluentes que presenten las mismas características o de naturaleza semejante.
- 7.4 Se recomienda utilizar floculantes naturales en la remoción de la materia orgánica, ya que por sus características cumplen con los objetivos planteados y son también de naturaleza biodegradable.
- 7.5 Se recomienda optimizar mediante combinaciones los floculantes inorgánicos o sintéticos con los floculantes naturales a fin de ahorrar costos operativos en la remociónde materia orgánica presente en los efluentes domésticos o municipales.

### VIII. REFERENCIAS

- Abboud, K. Y., da Luz, B. B., Dallazen, J. L., Werner, M. F. d. P., Cazarin, C. B. B., Maróstica Junior, M. R., et al. (2019). Gastroprotective Effect of Soluble Dietary Fibres from Yellow Passion Fruit (*Passiflora edulis* F. Flavicarpa) Peel against Ethanol-Induced Ulcer in Rats. *J. Funct. Foods*, 54, 552–558. [10.1016/j.jff.2019.02.003](https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.02.003)
- Alazaiza, M., Albahnasawi, A., Ali, G. & Bashir, M. (2022). Application of Natural Coagulants for Pharmaceutical Removal from Water and Wastewater: A Review. *Water*, 14(2), 1-17.  
[https://www.researchgate.net/publication/357631450\\_Application\\_of\\_Natural\\_Coagulants\\_for\\_Pharmaceutical\\_Removal\\_from\\_Water\\_and\\_Wastewater\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/357631450_Application_of_Natural_Coagulants_for_Pharmaceutical_Removal_from_Water_and_Wastewater_A_Review)
- Barajas, C. y León, A. (2015). “*Determinación de la Dosis Óptima de sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ) en el proceso de Coagulación - Floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una Red Neuronal Artificial*”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Santo Tomás]. Repositorio de la Universidad Santo Tomás.  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bahrodin, M. B., Zaidi, N. S., Hussein, N., Sillanpää, M., Prasetyo, D. D., & Syafiuddin, A. (2021). Recent Advances on Coagulation-Based Treatment of Wastewater: Transition from Chemical to Natural Coagulant. *Current Pollution Reports*. doi:10.1007/s40726-021-00191-7
- Bratby, J., 2016. Coagulation and Flocculation. *Water and Wastewater Treatment, third edition* In J. Bratby (Ed.). IWA Publishing, pp. 450.

- Capital Water. (s.f.). Planta de Tratamiento de Agua Residual – Playa Rímac Callao. *UpSolution*. <http://capital-water.com/portfolio/planta-de-tratamiento-de-agua-residual-callao-playa-rimac/>
- Castañeda, H. (2021). Influencia de ph y concentración de cáscara de maracuyá en la adsorción de plomo en un efluente minero de Llacuabamba – Pataz [Tesis de licenciatura]. Universidad Privada del Norte. [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/29000/Casta% c3% b1eda% 20C onterras% 20Hayden% 20Milagros.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/29000/Casta%c3%b1eda%20Conterras%20Hayden%20Milagros.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Chacón, I. y Ramos, C. (2019). “*Optimización de parámetros para remoción de turbidez, DBO5 Y DQO mediante procesos de coagulación/floculación de aguas residuales domésticas empleando organoarcilla*”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Peruana Unión]. Repositorio de la Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2144>
- Choy S., Prasad, K., Wu T., Raghunandan M., & Ramanan R. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of Environmental Science*, 26(11):2178–89.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M. & Ledin, A. (2002). Characteristics of Grey Wastewater. *Urban Water*, 4(1), 85-104. [https://www.researchgate.net/publication/257587685\\_Characteristics\\_of\\_Grey\\_Wastewater](https://www.researchgate.net/publication/257587685_Characteristics_of_Grey_Wastewater)
- Espíritu, C. y Valladares, L. (2022). *Influencia de la cáscara de maracuyá y papa en la reducción de contaminantes de lixiviados del botadero de la Municipalidad Provincial de Chupaca en el año 2021*. [Tesis para optar el Título de ingeniero Ambiental.

Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental.  
[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12390/2/IV\\_FIN\\_107\\_T E\\_Espiritu\\_Valladares\\_2022.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12390/2/IV_FIN_107_T E_Espiritu_Valladares_2022.pdf)

Fabara, D., Arias, J., Monge, P., Jara, R., Tacán, G., Tapia, E. y Torres, C. (2019). Alternatives of coagulation processes for the treatment of hospital wastewater, Teaching Hospital of Calderon, Ecuador. *Rev Perspectiva*, 20 (4), 371-379. DOI: <https://doi.org/10.33198/rp.v20i2.00050>

Flórez, G., López, M. y Mannsbach, M. (2017). Evaluación de sales de aluminio y hierro en la remoción química de materia orgánica y sedimentos presentes en aguas residuales domésticas. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*.  
<https://www.eumed.net/rev/caribe/2017/01/sales.html>

Fundación Ecomar. (9 de julio de 2020). *¿Qué son las aguas residuales?*.  
[https://fundacionecomar.org/que-son-las-aguas-residuales/#:~:text=Qu%C3%ADmicos%3A%20Los%20componentes%20qu%C3%ADmicos%20m%C3%A1s,prioritarios%20y%20azufre\)%3B%20gases%20](https://fundacionecomar.org/que-son-las-aguas-residuales/#:~:text=Qu%C3%ADmicos%3A%20Los%20componentes%20qu%C3%ADmicos%20m%C3%A1s,prioritarios%20y%20azufre)%3B%20gases%20)

García, A. y Zevallos, K. (2021). *Optimización del proceso coagulación-floculación usando cloruro férrico y fosfato para la reducción de contaminantes del agua residual del camal Conchucos S.A., Lima*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental y Recursos Naturales. Universidad Nacional del Callao]. Repositorio de la Universidad Nacional del Callao.  
[http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6201/TESIS\\_PREGRA DO\\_GARCIA\\_ZEVALLOS\\_FIARN\\_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6201/TESIS_PREGRA DO_GARCIA_ZEVALLOS_FIARN_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Hoang, O., Tran, L., Doan, V. y Huu, H. (2020). Mucilage Extracted from Dragon Fruit Peel

- (*Hylocereus undatus*) as Flocculant for Treatment of Dye Wastewater by Coagulation and Flocculation Process. *International Journal of Polymer Science*. <https://doi.org/10.1155/2020/7468343>
- Gorgich, M., Mata, T. M., Martins, A., Caetano, N. S., & Formigo, N. (2020). Application of domestic greywater for irrigating agricultural products: A brief study. *Energy Reports*, 6, 811-817.
- Grupo Acura. (21 de marzo de 2023). ¿Qué es la coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales?. Grupo Acura. <https://grupoacura.com/es/blog/coagulacion-floculacion/#coagulacion>
- Hassan, N. (15 de agosto de 2019). Water Quality Parameters. *Water Quality - Science, Assesments and Policy*. <https://www.intechopen.com/chapters/69568>
- Jones, B. (2020). Inorganic and Organic coagulants: Making an informed decision. *Veolia Water Technologies*. <https://blog.veoliawatertechnologies.co.uk/inorganic-vs-organic>
- Kalavathy S., Giridhar M. y Viswanadh G. (2017). A Jar Test Study on the use of Alum and Ferric Chloride for Turbidity Removal. *Proceedings of 4th National Conference on Water, Environment & Society*. 339-345. ISBN : 978-93-5230-182-9
- Koyuncu, S., & Ariman, S. (2020). Domestic wastewater treatment by real-scale electrocoagulation process. *Water Science and Technology*, 81(4), 656-667.
- Khan, Nadeem A.; Khan, Saif Ullah; Ahmed, Sirajuddin; Farooqi, Izharul Haq; Dhingra, Aastha; Hussain, Arshad; Changani, Fazlollah (2019). *Applications of Nanotechnology in Water and Wastewater Treatment: A Review*. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 16(4), 81–86. doi:10.3233/AJW190051

- Lakna. (7 de junio de 2017). Difference Between BOD and COD. *PEDIAA*.  
[https://www.researchgate.net/profile/Lakna-Panawala/publication/318305894\\_Difference\\_Between\\_BOD\\_and\\_COD/links/5b08d33c4585157f87167337/Difference-Between-BOD-and-COD.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Lakna-Panawala/publication/318305894_Difference_Between_BOD_and_COD/links/5b08d33c4585157f87167337/Difference-Between-BOD-and-COD.pdf)
- Lee, E. (2019). Chapter 1- Electrophoresis of a Single Rigid Particle en E. Lee (Ed.), *Theory of Electrophoresis and Diffusiophoresis of Highly Charged Colloidal Particles* (26, 3-45). Academic Press.
- Lee, C., Robinson, J., & Chong, M. (2014). A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, 92, 489–508.  
10.1016/j.psep.2014.04.010
- Lee, K.E., Teng, T.T., Morad, N., Poh, B.T. & Mahalingam, M. (2011). Flocculation activity of novel ferric chloride-polyacrylamide (FeCl<sub>3</sub>- PAM) hybrid polymer. *Desalination*, 266, 108–113. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.08.009>
- Li, S., Hu, T., Xu, Y., Wang, J., Chu, R., Yin, Z., ... Zhu, L. (2020). A review on flocculation as an efficient method to harvest energy microalgae: Mechanisms, performances, influencing factors and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 1-15. doi:10.1016/j.rser.2020.110005
- Litu, L., Ciobanu, G., Mihai, S., Kotova, O., Ciocinta, R., Bucur, D. & Harja, M. (2019). Comparative study between flocculation-coagulation processes in raw/wastewater treatment. *AgroLife Scientific Journal*, 8(1), 139-145.
- Lopes, F.A., Miotelli, H., Schneider, I.A.H. & Menezes, J.C.S.S. (2015). Produção de coagulante cloreto férrico a partir de óxido de ferro III gerado no processo de ustulação

da pirita presente em rejeitos de mineração de carvão. XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Poços de Caldas, 2015.

Manrique, J. (2019). *Análisis comparativo de la disminución de sólidos suspendidos utilizando opuntia ficus-indica y cloruro férrico en las aguas del río Lurín*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. Repositorio de la Universidad Nacional Lima Sur. [https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/213/1/Manrique\\_Juan\\_Tra\\_bajo\\_Suficiencia\\_2019.pdf](https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/213/1/Manrique_Juan_Tra_bajo_Suficiencia_2019.pdf)

Marañón, E., Castrillón, L. y Fernández, A. (2009). Colour, turbidity and COD removal from old landfill leachate by coagulation-flocculation treatment. *The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 28(8). <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X09352504>

MINISTERIO DEL AMBIENTE (2014). Límites Máximos Permisibles para Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas. D.S. 010-2010- MINAM.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). *Tratamiento y reuso de las aguas residuales: Perú ¿un reflejo de la región?*. Grupo Banco Mundial. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/98E83F5DA8312DDF05258184006CA49F/\\$FILE/21.BookletConferenciaFINAL.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/98E83F5DA8312DDF05258184006CA49F/$FILE/21.BookletConferenciaFINAL.pdf)

Mejía-López, A., Cabrera, M., & Carrillo, Y. (2017). Remoción de contaminantes orgánicos presentes en agua residual doméstica mediante prototipo a escala de laboratorio. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 26(2), 64-71.

Muñoz Tello, K. M., & Vasquez Perez, M. (2019). Tendencias actuales para el tratamiento de aguas residuales domésticas: una revisión de la literatura científica.



Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Ministerio del Ambiente.  
[https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)

Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*. UnWater.  
[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/\\$FILE/1\\_\\_15.247647s.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/$FILE/1__15.247647s.pdf)

Owodunni, A. A., & Ismail, S. (2021). Revolutionary technique for sustainable plant-based green coagulants in industrial wastewater treatment—A review. *Journal of Water Process Engineering*, 42, 1-21. 10.1016/j.jwpe.2021.102096

Pérez, F. y Urrea, M. (2012). *Coagulación y floculación* [Diapositiva de PowerPoint]. Universidad Politécnica de Cartagena.  
[https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod\\_resource/content/1/Tema\\_06\\_COAGULACION\\_Y\\_FLOCULACION.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf)

Pochteca. (s.f.). ¿Qué son los coagulantes y qué tipos existen?. *Pochteca*.  
<https://mexico.pochteca.net/que-son-los-coagulantes-y-que-tipos-existen/>

Qasim, H. (2017). *Monitoring the wastewater treatment efficiency of waste stabilization ponds at pharang drain, Faisalabad* [Tesis de maestría]. The University of Lahore.  
10.13140/RG.2.2.22082.09922

Real Academia Española. (s.f.). Eficiencia. En Diccionario de la lengua española. Recuperado en 13 de octubre de 2023, de <https://dle.rae.es/eficiencia>

Revolledo, A. (2021). *Sistema de coagulación-floculación y adsorción a nivel de laboratorio para la reducción de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales del lavado*

*de contenedores refrigerados del almacén M.P.S.A.R.C.* [Tesis para optar el Título de Ingeniera Ambiental. Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.  
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/26950/Revolledo%20Chaparro%2c%20Ana%20Paula.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Saboya, X. V. (2018). Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas- Amazonas.

Servyeco. (s.f.). Synthetic Coagulants. *Servyeco: Gestión Integral del agua*.  
<https://www.servyeco.com/en/synthetic-coagulants.html#:~:text=What%20are%20they%3F,by%20solid%2Dliquid%20separation%20processes>.

Sifuentes, J. (2019). *Evaluación del coagulante natural obtenido de la semilla de maracuyá (passiflora edulis) en la remoción de la turbidez de una solución modelo*. [Tesis para optar el Título de Ingeniera Ambiental. Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.  
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/24352/Sifuentes%20Iparraguirre%2C%20Jazmin%20Karina-convertido.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Silva, D. C., Freitas, A. L. P., Barros, F. C. N., Lins, K. O. A. L., Alves, A. P. N. N., ... Alencar, N. M. N. (2012). Polysaccharide Isolated from *Passiflora edulis*: Characterization and Antitumor Properties. *Carbohydr. Polym.* 87 (1), 139–145.  
 10.1016/j.carbpol.2011.07.029

Tomohiro Okadera, Kazuaki Syutsubo, Wilasinee Yoochatchaval, Yoshitaka Ebie, Rieko

- Kubota, Water Volume- and BOD- based Flow Analysis for Domestic Wastewater Treatment Using Wastewater Inventories of Bangkok, Thailand, *Journal of Water and Environment Technology*, 2020, Volume 18, Issue 2, Pages 71-79, Released on J-STAGE April 10, 2020, Online ISSN 1348-2165, <https://doi.org/10.2965/jwet.19-064>, [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jwet/18/2/18\\_19-064/\\_article/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jwet/18/2/18_19-064/_article/-char/en)
- Torres, P. (2001). Tendencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Ingeniería y Competitividad*, 3(1), 35-42.
- Turner, T. & Oliver, I. (2019). Potential Alternative Reuse Pathways for Water Treatment Residuals: Remaining Barriers and Questions—a Review. *Water Air and Soil Pollution*, 230(9), 1-30. [https://www.researchgate.net/publication/335571051\\_Potential\\_Alternative\\_Reuse\\_Pathways\\_for\\_Water\\_Treatment\\_Residuals\\_Remaining\\_Barriers\\_and\\_Questions-a\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/335571051_Potential_Alternative_Reuse_Pathways_for_Water_Treatment_Residuals_Remaining_Barriers_and_Questions-a_Review)
- Wan, J., Gu, J., Zhao, Q., & Liu, Y. (2016). COD capture: a feasible option towards energy self-sufficient domestic wastewater treatment. *Scientific reports*, 6(1), 25054.
- Zhang, Q., He, C., Ren, J. & Goodsite, M. (2021). *Waste to Renewable Biohydrogen* En Zhang, Q., He, C., Ren, J. & Goodsite, M (Eds). <https://doi.org/10.1016/C2019-0-02619-2>

## IX. ANEXOS

### ANEXO A: Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<p><b>Problema general</b> ¿Cómo será la eficiencia del Cloruro Férrico y cáscara de Maracuyá en la remoción de DQO, DBO y Turbiedad en aguas residuales domésticas, 2023?</p> <p><b>Problemas Específicos</b> 1. ¿Cuáles son las características de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas? 2. ¿Cuál es la dosis óptima del Cloruro Férrico y cáscara de Maracuyá para la remoción de DQO, DBO y Turbiedad de las aguas residuales domésticas? 3. ¿Cuál es la eficiencia del Cloruro Férrico y cáscara de</p>	<p><b>Objetivo general</b> Evaluar la eficiencia del Cloruro Férrico y cáscara de Maracuyá en la remoción de DQO, DBO y Turbiedad en aguas residuales domésticas, 2023.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b> 1. Caracterizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas antes del tratamiento con Cloruro Férrico y cáscara de Maracuyá. 2. Determinar la dosis óptima obtenida con Cloruro Férrico y cáscara de</p>	<p><b>Hipótesis general</b> La evaluación de la eficiencia del Cloruro Férrico y Cáscara de Maracuyá permitirá conocer el nivel de remoción de DQO, DBO y Turbiedad en aguas residuales domésticas, 2023.</p> <p><b>Hipótesis Específicos</b> 1. Los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas exceden los Límites Máximos</p>	<b>Variable Independiente</b>	<p>Es un tipo de coagulante dentro del grupo a base de hierro que se expresa como FeCl<sub>3</sub> y que logra ser encontrado con gran disposición comercial en estados líquido, cristalino o anhidro; además, en los primeros dos estados tiende a ser considerado como un elemento altamente corrosivo; por lo cual, debe ser tratado de la misma manera que lo sería al tratar con ácido hidrolórico (Bratby, 2016).</p>	<p>La eficiencia de ambos coagulantes será evaluada en función a los factores que influyen y permiten desarrollar este proceso, los cuales son el tipo y cantidad de coagulante, pH del agua, tiempo de mezcla y floculación, temperatura y agitación, los cuales implican la desestabilización de las partículas coloidales, desestabilización coloidal por reducción del potencial Z y coagulación por arrastre de partículas.</p>	Coagulación	Dosis	ml
			Tiempo				Minutos	
			Velocidad de agitación				RPM	
			Temperatura				°C	
			pH				Unidad de pH	
			<b>Variable Dependiente:</b>	<p>De acuerdo a Chacón y Ramos (2019) el tratamiento fisicoquímico permite la adición de productos químicos,</p>	<p>Para evaluar la remoción de DQO, DBO y Turbiedad se tomará en cuenta su concentración inicial de trabajo considerado</p>	Parámetros fisicoquímicos	Concentración DQO	mg/l
							mg/l	

Maracuyá para la remoción de DQO, DBO y Turbiedad de las aguas residuales domésticas?	Maracuyá en la remoción de DQO, DBO y Turbiedad en aguas residuales domésticas. 3. Estimar las eficiencias obtenidas con Cloruro Férrico y cascara de Maracuyá en la remoción de DQO, DBO y Turbiedad en aguas residuales domésticas..	Permisibles para aguas residuales domésticas. 2. Las dosis óptimas obtenida con Cloruro Férrico y cáscara de Maracuyá permitirán remover la DQO, DBO y Turbiedad en aguas residuales domésticas.. 3. Las dosis óptimas obtenidas con Cloruro Férrico y cáscara de Maracuyá permitirán conocer las eficiencias en la remoción de DQO, DBO y Turbiedad en aguas residuales domésticas.	Remoción de DQO, DBO y Turbiedad.	que generan una alteración del estado físico de estas sustancias y permanecen por tiempo indefinido de forma estable, para convertirse en partículas susceptibles de separación por sedimentación o flotación y se puede remover del 80 al 90% de la materia total suspendida, del 40 al 70% de la DBO5 y del 30 al 40% de la DQO.	por el investigador, para luego ser sometido a un proceso de tratamiento con floculantes naturales y observar sus nuevos niveles alcanzados, asimismo, tomaremos en cuenta los niveles de eficiencia obtenidos en cada caso.	Concentración DBO	
						Concentración turbiedad	NTU
						Eficiencia	%

**ANEXO B: Panel fotográfico****Medición de Temperatura y pH de la muestra de agua residual con multiparámetro HANNA**



**Preparación de una solución de cloruro férrico a distintas concentraciones**



**Tamizaje final de la muestra de Cascara de Maracuyá**





**Análisis final de resultados desarrollados en Floculador Programable**



**Determinación de DQO, DBO y Turbiedad**