



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

EFICIENCIA DE LA CÁSCARA DE NARANJA “Citrus sinensis” FRENTE AL
SULFATO DE ALUMINIO PARA LA REMOCIÓN DE LA MATERIA ORGANICA EN
AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA PTAR TABOADA, CALLAO

Línea de investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Avalos Jaime, Miguel Domingo

Asesor:

Vásquez Aranda, Ahuber Omar
(ORCID: 0000-0002-2873-6752)

Jurado:

Sánchez Carrera, Dante Pedro
Gonzales Alarcón, Angelino Óscar
Valdivia Orihuela, Braulio Armando

Lima - Perú

2023



REPORTE DE ANÁLISIS DE SIMILITUD

Archivo:	1A-AVALOS JAIME MIGUEL DOMINGO-TITULO PROFESIONAL-2022
Fecha del análisis:	27/09/2022
Operador del programa informático:	Gamarra Jiménez, David Milton
Correo del operador del Programa informático:	dgamarra@unfv.edu.pe
Porcentaje:	7 %
Título	“EFICIENCIA DE LA CASCARA DE NARANJA “Citrus sinensis” FRENTE AL SULFATO DE ALUMINIO PARA LA REMOCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PTAR TABOADA, CALLAO, 2022”
Asesor:	Vásquez Aranda, Ahuber Omar
Enlace:	https://secure.arkund.com/old/view/138279697-247296-472906#Dcc7DslwEADRu7gele/Xa66CKFAEKAVpUiLujpvRm2/7nO166wiysqqlIY4EkshACpko2IFBFwx1NNBEB1roxLCOcabYsmOBJTawwiaOd1xwxQ1fG3jiAy98EiSDYt5p5/4+9te+PY7t2_a790lOnhFVahY+K8fsD


Ing. CARLOS FERNANDO BALLARDO REYES
Oficina de Grados y Gestión del Egresado

Jefe de la Oficina de Grados y Gestión del Egresado



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
“EFICIENCIA DE LA CÁSCARA DE NARANJA “Citrus sinensis” FRENTE AL
SULFATO DE ALUMINIO PARA LA REMOCIÓN DE LA MATERIA ORGANICA
EN AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA PTAR TABOADA, CALLAO”
2022”

Línea de investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación
Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Avalos Jaime, Miguel Domingo

Asesor:

Vásquez Aranda, Ahuber Omar
(ORCID: 0000-0002-2873-6752)

Jurado:

Sánchez Carrera, Dante Pedro
Gonzales Alarcón, Angelino Óscar
Valdivia Orihuela, Braulio Armando

Lima – Perú

2023

INDICE

RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
I. Introducción.....	9
1.1. Descripción y formulación del problema	10
1.1.1. Descripción del problema	10
1.1.2. Formulación del Problema.....	12
1.2. Antecedentes	13
1.2.1. Antecedentes Internacionales.....	13
1.2.2. Antecedentes Nacionales	17
1.3. Objetivos	21
1.3.1. Objetivo General.....	21
1.3.2. Objetivos Específicos.....	22
1.4. Justificación.....	22
1.5. Hipótesis.....	23
1.5.1. Hipótesis General.....	23
1.5.2. Hipótesis Específicas	23
II. Marco Teórico.....	24
2.1. Bases Teóricas sobre el tema de investigación	24
2.1.1. Agua Residual.....	24
2.1.2. Clasificación de las Aguas Residuales.....	24
2.1.3. Agua Residual Doméstica.....	25
2.1.4. Tratamiento de Aguas Residuales.....	25
2.1.5. Parámetros Analizados en las Aguas Residuales Domésticas	29
2.1.6. Medición de la Materia Orgánica	32

2.1.7.	Coagulación y Flocualción	32
2.1.8.	Coagulación	33
2.1.9.	Mecanismos de Coagulación	33
2.1.10.	Factores que influyen en la Coagulación	35
2.1.11.	Factores que afectan el Proceso de Coagulación	35
2.1.12.	Tipos de Coagulación	35
2.1.13.	Floculación.....	36
2.1.14.	Parámetros de la Floculación	36
2.1.15.	Factores que influyen en la Floculación	37
2.1.16.	Coagulantes – Floculantes Inorgánicos	38
2.1.17.	Coagulantes – Floculantes Naturales	38
2.1.18.	Sedimentación.....	39
2.1.19.	Naranja Dulce (<i>Citrus sinensis</i>).....	39
2.1.20.	Sulfato de Aluminio	40
2.1.21.	Ensayo de Jarras.....	41
2.1.22.	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Taboada	41
2.1.23.	Definición de Términos	42
2.1.24.	Base Legal Ambiental.....	44
III.	Método.....	46
3.1.	Tipo de investigación	46
3.2.	Ámbito Temporal y Especial.....	46
3.2.1.	Ámbito temporal	46
3.2.2.	Ámbito espacial	46
3.3.	Variables.....	47
3.3.1.	Variable Independiente	47

3.3.2. Variable Dependiente.....	47
3.4. Población y muestra	49
3.4.1. Población.....	49
3.4.2. Muestra	49
3.5. Instrumentos	49
3.5.1. Técnicas	49
3.5.2. Instrumentos.....	49
3.5.3. Equipos	49
3.6. Procedimientos	50
3.6.1. Monitoreo para la toma de muestra.....	50
3.6.2. Desarrollo experimental.....	50
3.6.3. Determinación final de parámetros fisicoquímicos	52
3.7. Análisis de datos.....	53
IV. Resultados.....	55
4.1. Caracterización del agua residual doméstica	55
4.2. Eficiencia del Sulfato de Aluminio	58
4.3. Eficiencia de la Cáscara de Naranja.....	63
4.5. Análisis Estadístico	68
4.4.1. Análisis Inferencial.....	69
4.4.2. Contrastación de Hipótesis de investigación.....	73
V. Discusión de resultados.....	74
VI. Conclusiones.....	78
VII. Recomendaciones.....	79
VIII. Referencias Bibliográficas.....	80
IX. Anexos.....	83

9.1. Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua-República de Ecuador.....	83
9.2. Límite Máximo Permisible: Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM.....	84
9.3. Matriz de Consistencia.....	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables de Investigación.....	53
Tabla 2. Comparación de los parametros fisicoquimicos de la muestra inicial con los LMP	60
Tabla 3. Resultados de temperatura obtenidos en las tres corridas con sulfato de aluminio .	63
Tabla 4. Resultados de pH obtenidos en las tres corridas con sulfato de aluminio	64
Tabla 5. Resultados de Turbiedad obtenidos en las tres corridas con sulfato de aluminio.....	65
Tabla 6. Resultados de la DQO obtenidos en las tres corridas con sulfato de aluminio.....	66
Tabla 7. Eficiencias para Turbiedad con sulfato de aluminio	67
Tabla 8. Eficiencias para DQO con sulfato de aluminio.....	68
Tabla 9. Resultados de la Temperatura obtenidos en las tres corridas con Cáscara de Naranja	69
Tabla 10. Resultados del pH obtenidos en las tres corridas con Cáscara de Naranja.....	70
Tabla 11. Resultados de la Turbiedad obtenidos en las tres corridas con Cáscara de Naranja	71
Tabla 12. Resultados de la DQO obtenidos en las tres corridas con cáscara de Naranja	72
Tabla 13. Eficiencia para la Turbiedad con cáscara de Naranja	73
Tabla 14. Eficiencia para la DQO con cáscara de Naranja	73
Tabla 15. Agrupación de datos para analisis estadstico.....	74
Tabla 16. Prueba de Normalidad T1 Vs T2 para la eficiencia de remoción de la DQO.....	75
Tabla 17. Prueba de Hipótesis T de Students de variables relacionadas respecto a la DQO..	76
Tabla 18. Contrastación de Hipótesis	78

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de la Temperatura inicial de la muestra y el LMP	61
Figura 2. Comparación del pH inicial de la muestra y el LMP	61
Figura 3. Comparación de la Turbiedad inicial de la muestra y el LMP	62
Figura 4. Comparación de la DQO inicial de la muestra y el LMP.....	62
Figura 5. Comportamiento de la Temperatura con sulfato de aluminio con relación al LMP	64
Figura 6. Comportamiento del pH con sulfato de aluminio con relación al LMP.....	65
Figura 7. Comportamiento de la Turbiedad con sulfato de aluminio con relación al LMP ...	66
Figura 8. Comportamiento de la DQO con sulfato de aluminio con relación al LMP	67
Figura 9. Comportamiento de la Temperatura con cáscara de Naranja en relación con el LMP	69
Figura 10. Comportamiento del pH con cáscara de Naranja en relación con el LMP.....	70
Figura 11. Comportamiento de la Turbiedad con cáscara de Naranja en relación con el LMP	71
Figura 12. Comportamiento de la DQO con cáscara de Naranja en relación con el LMP	72
Figura 13. Verificación de la eficiencia de remoción del T1 Vs T2 para remover Turbiedad	77
Figura 14. Verificación de la eficiencia de remoción del T1 Vs T2 para remover DQO	78

RESUMEN

Durante el proceso de tratamiento primario de aguas residuales se llevan a cabo los procesos de coagulación y floculación, los cuales son los encargados de reducir la turbidez mediante la aplicación de agentes químicos definidos como coagulantes. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo conocer la eficiencia de aplicar el coagulante químico sulfato de aluminio y un orgánico a partir de la cáscara de naranja *Citrus sinensis* y observar la variación del pH y Temperatura; y conocer la reducción de la Turbidez y la DQO con respecto a la muestra inicial. El procedimiento se desarrolló en base a tres corridas experimentales y por tipo de coagulante, trabajadas en cinco jarras donde se aplicarán las concentraciones y dosis de Sulfato de Aluminio y cáscara de naranja al 0.5%, 1%, 1.5%, 2% y 2.5% respectivamente. Para el Sulfato de Aluminio, los resultados arrojaron que la remoción de la Turbiedad con la dosis al 0,5% alcanzaron una eficiencia del 93.9% y la dosis óptima para la remoción de la DQO fue del 1% llegando a alcanzar una eficiencia del 87.7%. Para el caso de la cáscara de Naranja la dosis óptima en la remoción de la Turbiedad estuvo en 2.5%, alcanzando una eficiencia del 60.4% y para la DQO la dosis óptima estuvo en 2.5%, alcanzando una eficiencia del 59.1%. Si bien es cierto la cáscara de naranja resulta ser un coagulante importante en la remoción de materia orgánica, sus eficiencias alcanzadas no llegan a superar al sulfato de aluminio cuando son trabajadas con las mismas concentraciones y dosis.

Palabras Clave: Tratamiento, aguas residuales, coagulación, sulfato de aluminio, floculación

ABSTRACT

During the primary wastewater treatment process, coagulation and flocculation processes are carried out, which are responsible for reducing turbidity through the application of chemical agents defined as coagulants. The objective of this research work was to know the efficiency of applying the chemical coagulant aluminum sulfate and an organic from the orange peel *Citrus sinensis* and observe the variation of pH and temperature; and knowing the reduction of Turbidity and COD with respect to the initial sample. The procedure was developed based on three experimental runs and by type of coagulant, worked in five jars where the concentrations and doses of Aluminum Sulfate and orange peel at 0.5%, 1%, 1.5%, 2% and 2.5% will be applied. respectively. For Aluminum Sulfate, the results showed that the removal of Turbidity with the dose at 0.5% reached an efficiency of 93.9% and the optimal dose for the removal of COD was 1%, reaching an efficiency of 87.7 %. In the case of orange peel, the optimal dose for Turbidity removal was 2.5%, reaching an efficiency of 60.4%, and for COD the optimal dose was 2.5%, reaching an efficiency of 59.1%. Although it is true that orange peel turns out to be an important coagulant in the removal of organic matter, its achieved efficiencies do not exceed aluminum sulfate when they are worked with the same concentrations and doses.

Keywords: Treatment, wastewater, coagulation, aluminum sulfate, flocculation

I. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales domesticas se componen principalmente de agua junto con una pequeña cantidad de concentración de sólidos orgánicos e inorgánicos suspendidos y disueltos. Debido al crecimiento de la población y a las diferencias en los hábitos de consumo, la eliminación de los residuos sólidos se ha convertido en un problema medioambiental crítico, el riesgo para la salud humana se debe a la exposición de los microorganismos y a la elevada carga de contaminantes orgánicos en el suelo, e impacto en la vida acuática de las aguas residuales no tratadas en la industria y los municipios de todo el mundo (P.W.2002).

Ante esta problemática se han implementado las plantas de tratamiento de aguas residuales en las ciudades de todo el mundo, el cual mediante diferentes procesos que constan de etapas variadas y costos de operación buscan reducir su impacto y no representen peligro al momento de su vertimiento. Los procesos de coagulación y floculación son simultáneos, el primero tiene como propósito la formación de pequeñas partículas y la desestabilización de los coloides para favorecer la precipitación de sustancias inorgánicas, y el segundo, eliminarlas por sedimentación o filtración (Cogollo, 2010); para dicho proceso es común el uso de coagulantes químicos, siendo el sulfato de aluminio el de mayor uso en los países en vías de desarrollo, por ser rentables, de fácil acceso y alta eficacia para favorecer la remoción de color, turbiedad y microorganismos patógenos (Restrepo, 2009).

Dentro de los coagulantes naturales, se ha empleado la cáscara de naranja como agente absorbente de contaminantes, dirigido a productos químicos que se encuentran en los desechos acuosos, hasta ahora ha demostrado ser eficiente para la eliminación por adsorción del azul de metileno, un indicador redox que es bastante utilizado en química analítica, y Direct Red 23 y 80, que son tintes textiles (Arami et al., 2005; Navasivayam et al., 2003). También se ha estudiado que es un eficaz absorbente de iones de metales pesados (Ajmal et al., 2000). Varios estudios de biosorción se refieren a monometálicos sistemas, sin embargo, en la práctica, las

aguas residuales industriales normalmente contienen más de un metal, la absorción de varios iones metálicos como Cd^{2+} , Zn^{2+} y Pb^{2+} . Con cáscara de naranja también se ha investigado en mezclas binarias como $\text{Cd}^{2+}\text{-Zn}^{2+}$, $\text{Cd}^{2+}\text{-Pb}^{2+}$, y $\text{Zn}^{2+}\text{-Pb}^{2+}$, (Perez-Marin et al., 2008).

El proceso de la floculación incluye la agitación lenta de grumos coagulados, y su función es permitir que los flóculos recién formados se aglomeren para aumentar su tamaño y peso necesarios para facilitar la sedimentación (Andía, 2000).

En la presente investigación explicaremos y aplicaremos un procedimiento de tratamiento primario de aguas residuales mediante el uso de dos coagulantes uno inorgánico a partir del sulfato de aluminio y otro orgánico a partir de la cáscara de naranja, a fin de que sean comparadas las eficiencias teniendo en cuenta las mismas concentraciones y dosis, en tal sentido al finalizar el proceso de experimentación procederemos con analizar los resultados obtenidos y medir las eficiencias.

1.1 Descripción y formulación del problema

1.1.1 Descripción del problema

La escasez y falta de agua potable es un fenómeno generado por los seres humanos, al ser desperdiciada, polucionada y manejada de manera no sostenible, convirtiéndose en un serio problema de salud pública, en muchas naciones del mundo (Connor et al., 2017). El manejo y control de la contaminación del agua, se basa en la identificación, clasificación y prioridad de los problemas a nivel local, en relación con la calidad del agua y el manejo de la contaminación, para la protección de la salud y el ambiente (Tchounwou et al., 2012). Entre las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales tenemos a los vertimientos domésticos e industriales, que provienen de los sistemas de alcantarillados municipal (Nkansah et al., 2016). Los sistemas de tratamiento de aguas residuales buscan principalmente reducir la materia orgánica contaminante (Connor et al., 2017).

El agua residual presenta muchas impurezas que comprenden una mezcla de sólidos

suspendidos y disueltos, sumado a partículas coloidales. Los sólidos en suspensión pueden ser de naturaleza inorgánica o estar en forma mineral como arena, limo y arcilla, o en forma orgánica incluyendo microorganismos como bacterias, virus, algas, y otros, siendo estas sustancias las responsables de la turbidez y el color del agua (Abdullah et al., 2017). Más de mil millones de personas en todo el mundo, sobre todo en países en desarrollo, carecen de agua potable confiable y segura, sumado a ello la escasez de agua. Hoy en día existen muchos desafíos para suministrar una calidad de agua segura, adecuada y confiable en muchas partes del mundo (Shaharom & Adenan, 2019).

La presencia de Materia Orgánica puede colorear el agua y provocar efectos estéticos, así como también, reaccionar con compuestos desinfectantes y oxidantes, generando la formación de subproductos que puedan tener un impacto en la salud (Croue et al., 2000; Edzwald, 2011; José et al., 2012). La Materia Orgánica puede causar contaminación e interferir con ciertos procesos de tratamientos de agua residual. Además, éstos compuestos orgánicos puede tener efectos sobre la calidad de agua en la red de distribución [Edwald, 2011; Jacangelo et al., 1995; Lu, 2005; Qaiser et al., 2014]. Muchos de los procesos de tratamientos de agua se enfocan en la remoción de la Materia Orgánica, lo significa que es importante por múltiples motivos (Edwald, 2011).

La industria textil consume grandes cantidades de agua, principalmente en operaciones de preparación y acabado, obteniéndose de esta manera una importante generación de aguas residuales que contienen restos de colorantes, contaminantes orgánicos de alta y baja biodegradación, materia en suspensión tensioactivos, sales y compuestos clorados. En consecuencia, los tratamientos secundarios y avanzados son obligatorios en el sector textil para la eliminación de materia orgánica, sólidos excedentes y color. Las aguas residuales de la industria se caracterizan comúnmente por parámetros como la DQO, DBO, pH, color y salinidad, (Torres et al., 2021).

El agua siempre ha jugado un papel importante en las operaciones de lavado industrial, ya que este solvente universal es requerido en grandes cantidades para el lavado efectivo de prendas y otros servicios textiles. Aproximadamente, una lavandería utiliza 15 litros de agua para procesar 1 kg de ropa y vierte 400 m³ de aguas residuales al día. En el hogar el uso de agua es el 21.7% del total que se consume (Ciabatti et al., 2009).

En el tratamiento de aguas residuales domésticos, los agentes clarificadores como los coagulantes y floculantes orgánicos e inorgánicos coadyuban en la eliminación de los sólidos en suspensión, inclusive contaminantes como el petróleo, elementos orgánicos (COT, Color) y durezas.

En el presente estudio se intentará investigar acerca de la eficiencia mostrada entre dos coagulantes, uno con características inorgánicas como el sulfato de aluminio y otro de naturaleza orgánica como la cáscara de naranja.

1.1.2 Formulación del Problema

1.1.2.1 Problema general.

¿Cómo será la eficiencia de la cáscara de naranja *Citrus sinensis* frente al sulfato de aluminio para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales domésticas de la PTAR Taboada en el Callao, 2022?

1.1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles serán las características fisicoquímicas de las aguas residuales domésticas de la PTAR Taboada en el Callao?
- ¿Cuál será la eficiencia del sulfato de aluminio en la remoción de la materia orgánica medida como DQO de las aguas residuales domésticas de la PTAR Taboada en el Callao?
- ¿Cuál será la eficiencia de la cáscara de naranja *Citrus sinensis* en la remoción de la materia orgánica medida como DQO de las aguas residuales domésticas de la PTAR

Taboada en el Callao?

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes Internacionales

Buenaño et al. (2019) en su artículo científico que desarrollaron sobre: “*Study of coagulating/flocculating characteristics of organic polymers extracted from biowaste for water treatment*”, plantearon como objetivo: evaluar las características coagulantes/floculantes de tres polímeros naturales: almidón de cáscara de plátano verde, pectina de cáscara de naranja y extracto de semilla de tamarindo en tres soluciones (agua, cloruro de sodio y acetato de amonio), para la purificación de agua natural cruda con turbidez de 5,32 NTU. Los polímeros naturales no presentaron actividad coagulante debido a la baja turbidez del agua natural cruda. Sin embargo, mostraron actividad floculante en combinación con sulfato de aluminio. Obteniendo como resultado que las combinaciones óptimas de sulfato de aluminio [mg/L] + polímero natural [mg/L] fueron: 50+0,2 para almidón, 60+0,06 para pectina, 60+0,6 para extracto de tamarindo en agua, 60+0,5 para extracto de tamarindo en cloruro de sodio y 60+0,2 para extracto de tamarindo en acetato de amonio. Los valores de eliminación de turbidez y color fueron aproximadamente 87 % y 92 %, respectivamente. El lodo residual excedió los límites máximos permisibles para la descarga al sistema de alcantarillado, además, mostró un efecto tóxico sobre la actividad mitótica de las raíces de cebolla a un CI50 de 0,5 a 2 %.

Liu et al. (2016) en su artículo científico que desarrollaron sobre: “*Effects of Organic Matter Removal from a Wastewater Secondary Effluent by Aluminum Sulfate Coagulation on Haloacetic Acids Formation*”, donde se plantea como objetivo la eliminación de materia orgánica efluente (EfOM) de un efluente secundario de aguas residuales mediante la coagulación con sulfato de aluminio (alumbre) y sus efectos sobre la formación de ácido haloacético (HAA) en el rango de dosis de alumbre de 0 a 120 mg/L y el rango de pH de 4,0 a 9,0. Dentro de la metodología se emplearon parámetros sustitutos, como carbono orgánico

disuelto (DOC), UV254, absorbancia UV específica (SUVA) y método de integración regional de fluorescencia para evaluar la eficiencia de eliminación orgánica. Los resultados indicaron que la coagulación incompleta aumentó notablemente la formación de HAA en el efluente tratado y que la coagulación mejorada redujo significativamente los precursores de los subproductos de la desinfección (DBP). El control del pH fue de mucha importancia para reducir la formación de subproductos de la desinfección que la dosificación de coagulante en términos de eliminación de precursores de la EfOM. Bajo las mismas condiciones de coagulación, las eficiencias de remoción de DOC, UV254 y SUVA fueron muy diferentes, pero todas alcanzaron sus valores máximos a pH 6. La eficiencia de remoción de materia orgánica efluente por coagulación no fue tan alta como la reportada para la remoción de materia orgánica natural en el tratamiento de agua. Esto probablemente se deba a la naturaleza única de la materia orgánica efluente caracterizado por la inclusión de productos microbianos recalcitrantes solubles en el efluente. A diferencia de lo que se observó en el tratamiento del agua, se descubrió que UV254 era un mejor indicador del precursor de la formación de HAA para el efluente de aguas residuales. El ácido dicloroacético y el ácido tricloroacético fueron las principales especies generadas después de la cloración del efluente crudo y tratado. La presencia de iones de bromuro y yoduro en solución aumentó la formación de fracciones de ácidos bromo - o yodoacéticos y también de ácidos haloacéticos totales (THAA) después de la cloración después de la coagulación con alumbre en todos los valores de pH. Se observó una formación mínima de THAA al pH de coagulación óptimo de 6 independientemente de la adición de iones bromuro e iones yoduro.

Domínguez et al. (2007) en su artículo científico que desarrollaron sobre: “*Aluminium sulfate as coagulant for highly polluted cork processing wastewaters: Removal of Organic Matter*”, donde proponen como objetivo principal determinar la remoción de materia orgánica, medida por las reducciones en la demanda química de oxígeno (DQO), polifenoles (TP), y

compuestos aromáticos (A) que se pueden obtener mediante este proceso, empleando la química del aluminio como coagulante en el tratamiento de aguas residuales altamente contaminadas del procesamiento del corcho. Dentro de la metodología de estudio se realizaron experimentos de prueba de jarras para determinar las condiciones óptimas para el proceso, principalmente para conocer la dosis efectiva de aluminio, el nivel de decontaminación de las aguas residuales, el tiempo de mezclado del coagulante, la velocidad de agitación y el pH. Los rangos de parámetros probados para el proceso de coagulación fueron: dosis de coagulante (33–166 mg/l de Al^{+3}), contaminación de las aguas residuales (DQO entre 1060 y 3050 mg O_2/l), tiempo de mezcla (5– 0 min), velocidad de agitación (60–300 rpm) y pH (4–11). Las capacidades de remoción resultantes estuvieron en los rangos de 20 a 55 % para DQO, 28 a 89 % para polifenoles y 29 a 90 % para compuestos aromáticos. Los mejores resultados se obtuvieron con un tiempo de mezclado del coagulante de 5 min y una velocidad de agitación de 300 rpm. Las elecciones óptimas de pH y dosis de coagulante dependían fundamentalmente del nivel de contaminación de las aguas residuales.

Matilainen et al. (2005) en su artículo científico sobre: “*Comparison of the Efficiency of Aluminium and Ferric Sulphate in the Removal of Natural Organic Matter During Drinking Water Treatment Process*”, dentro de la metodología se procedió a estudiar la remoción de materia orgánica natural por coagulación en el tren de tratamiento de agua potable durante un período de 2 años. En medio del estudio, se modificó el proceso de coagulación/flotación iónica reemplazando el sulfato de aluminio por sulfato férrico. Al mismo tiempo, se mejoró la unidad de filtración agregando una unidad de filtro de arena antes de la filtración de carbón activado y cambiando nuevos carbones a los filtros de carbón activado. Un objetivo especial fue comparar la eficiencia de los coagulantes de aluminio y férrico en la eliminación de materia orgánica mediante varios métodos, incluida la cromatografía de exclusión por tamaños de alta resolución. Una comparación de la cantidad y las características de la materia orgánica en el agua tratada

antes y después de la modificación del proceso de tratamiento proporcionó una idea del rendimiento del proceso. Aproximadamente el 95% de las sustancias orgánicas de alto peso molecular se eliminaron en el proceso con ambos agentes de coagulación. La mayor diferencia entre los coagulantes se presentó en la remoción de materia orgánica con masas molares de 1000-4000 g/ mol. Este compuesto orgánico de masa molar intermedia se eliminó un 25% más eficientemente con el coagulante a base de hierro que con el que está a base de aluminio. El material de masa molar baja se eliminó mal independientemente del coagulante. En promedio, solo se eliminó el 10 % de esta fracción. De acuerdo con las diferentes técnicas de medición utilizadas en el estudio, la coagulación con sulfato férrico fue un 10 % más eficiente en la eliminación general de materia orgánica en comparación con la coagulación con sulfato de aluminio. La eliminación de la turbidez fue más eficiente con aluminio que con sulfato férrico. La turbidez incluso aumentó durante el invierno en la coagulación con sulfato férrico, pero se eliminó la turbidez de manera efectiva en las filtraciones.

Klančnik (2014) en su artículo científico sobre: "*Coagulation and Adsorption Treatment of Printing Ink Wastewater*", plantea como objetivo: mejorar la eficiencia del carbono orgánico total (TOC) y la eliminación del color de las muestras de aguas residuales contaminadas con tinta de impresión flexográfica después de tratamientos de coagulación con adsorción adicional sobre carbones activados y cáscara de naranja molida. Dentro de la metodología de estudio se procedió a comparar individualmente las eficacias del tratamiento con las de otros tratamientos de floculación y de los procesos de coagulación y adsorción. Obteniendo que la coagulación fue el único método de tratamiento relativamente eficaz, que logró remover el 99,7 % del color y el 86,9 % de las sustancias orgánicas (TOC) de las muestras de aguas residuales de la tinta de impresión. Sin embargo, la floculación adicional no eliminó más los contaminantes orgánicos, mientras que la adsorción posterior con 7 g/l de carbón activado granular redujo aún más las sustancias orgánicas en un 35,1 %, y la adsorción con 7

g/l de carbón activado en polvo redujo aún más las sustancias orgánicas en un 59,3 %. Se concluye que la piel de naranja era un adsorbente inapropiado para muestras de aguas residuales con niveles bajos de contaminación, como el agua que había sido tratada por coagulación. Sin embargo, en muestras de aguas residuales de tintas de impresión altamente contaminadas, el tratamiento de adsorción con cáscara de naranja molida logró eficiencias comparables a las de los tratamientos con carbón activado granular.

1.2.2 Antecedentes Nacionales

Flores (2020) en su estudio sobre: “*Pectina de cáscara de cacao y sulfato de aluminio para reducción de la turbidez en aguas contaminadas del río Chillón*”, plantearon como objetivo: determinar la eficiencia de la pectina de cáscara de cacao como floculante y determinar la mejor concentración de sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) y pH de la solución para la reducir la turbidez en el tratamiento de aguas residuales. Dentro de la metodología en esta investigación se evalúa el uso de la pectina como floculante natural y el sulfato de aluminio como floculante sintético para la reducción de la turbidez en aguas del río Chillón, realizando el ensayo de test de jarras. Para lo cual se emplearon distintas concentraciones de floculante de pectina y de sulfato de aluminio, los que se trabajaron con valores diferentes de pH. Obteniendo como resultado que el floculante natural (pectina de cáscara de cacao) y sintético ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) poseen una eficiencia de reducción de la turbidez mayor al 90%, siendo sus porcentajes de 99,40 % y 99,96 %, respectivamente. Concluyendo que la pectina de cáscara de cacao presenta mayor remoción en el pH 3, mientras que el sulfato de aluminio en el pH 5; es así que la utilización de la pectina de cáscara de cacao como floculante natural para reducir la turbidez en aguas residuales es eficiente y se puede emplear como alternativa luego de los floculantes convencionales.

Aguilar (2019) en su estudio sobre: “Eficiencia de la cáscara de naranja pulverizada con la piedra Alumbre en el tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito de Puente Piedra

- 2019”, planteó como objetivo: evaluar en qué medida la cáscara de naranja pulverizada y la piedra alumbre mejoran la calidad de las aguas residuales domesticas del distrito de Puente Piedra. Dentro de la metodología aplicada a esta investigación, se consideró como población de estudio a las aguas residuales domesticas del fundo Gallinazo, en el distrito de Puente Piedra y su muestra fue un compósito de 27L; posteriormente se realizará el tratamiento del agua residual domestica con la cascará de naranja en polvo en dosis de 30 g, 60 g y 90g y la piedra alumbre en polvo como catalizador con dosis de 5 g por muestra. Se obtuvo como resultado que la dosis optima de la cáscarade naranja pulverizada (60 g), presentó parámetros: 6,01 pH; de igual forma 2293,6 de CE; 64,72 de NTU; 72,53 mg/L de ST; 47,66 mg/L de SST; 23,9 mg/L de SDT, concluyendo que el uso de la cáscara de naranja pulverizada influye en la reducción de los parámetros fisicoquímicos en las aguas residuales y es una alternativa sostenible.

Gaspar (2021) en su estudio sobre: *“Reducción de la Turbidez de las Aguas del Río Shullcas, Utilizando Penca de Tuna y Sulfato de Aluminio en el Proceso de Coagulación para el Tratamiento de Agua Potable”*, planteó como objetivo: Comparar la disminución de turbidez utilizando la penca de tuna y sulfato de aluminio en el proceso de coagulación para el tratamiento de agua potable. Dentro de la metodología empleada, se procedió a recolectar las aguas superficiales del anexo de Chamiseria, centro poblado de Acopalca, Junín; para lo cual se realizó la caracterización fisicoquímica de la muestra inicial tomada, obteniéndose una turbidez inicial de 300 UNT. El proceso de coagulación mediante la prueba de jarras se desarrolló bajo 2 dimensiones: dosis del coagulante y tiempo. Se aplicó un diseño experimental con 3 repeticiones, la primera dimensión tuvo 4 niveles (100 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L y 360 mg/L) y la segunda dimensión tuvo 3 niveles (20 minutos, 30 minutos y 40 minutos). Como resultado se obtuvo que la dosis óptima para el coagulante de penca de tuna como del sulfato de aluminio fue de 300 mg/L, con un tiempo de 40 minutos, alcanzando una remoción de turbidez de 99,62 % con el coagulante natural al reducir la turbidez del agua de 300 UNT hasta 1,13 UNT y una

reducción de turbidez de 98,41 %; con el coagulante químico al reducir la turbidez del agua de 300 UNT hasta 4,67 UNT, concluyendo que el coagulante natural de la penca de tuna es el que alcanzó la máxima remoción de turbidez de las aguas respecto al coagulante de sulfato de aluminio.

Janampa y Quiroz (2021) en su estudio sobre *“Remoción de Carga Orgánica de Aguas Residuales Domésticas por el método de Coagulación con Sulfato de Aluminio en el lugar Agua de Vichi – Santa Ana - Huancavelica”*, plantearon como objetivo: Determinar la remoción de carga orgánica de aguas residuales domésticas por el método de coagulación con sulfato de aluminio en el lugar Agua de Vichi - Santa Ana – Huancavelica, dentro de la metodología empleada en este estudio; se cuenta con una cámara de acumulación de caudales de aguas residuales domésticas generadas en el barrio de Santa Ana, esta Cámara tiene una estructura de concreto en forma de canal rectangular, y está ubicado en el lugar Agua de Vichi. Las aguas residuales son descargadas al río Ichu sin tratamiento previo; es así que para proceder con el método de coagulación se desarrolló el ensayo de prueba de jarras con el fin de encontrar la dosis óptima del coagulante para obtener el porcentaje máximo de remoción de carga contaminante, antes de ello se realizó un muestreo para recolectar muestras de agua residual doméstica las cuales fueron enviadas a un laboratorio para realizar el análisis de los parámetros DBO₅, DQO, Turbiedad, pH y Temperatura, así mismo se procedió a tomar muestras de agua residual de 30 L para realizar el ensayo de Prueba de jarras en el laboratorio de la empresa prestadora de servicios “EMAPA”. Luego de realizar el ensayo de prueba de jarras se obtuvo que las dosis óptimas del coagulante son de 100 y 120 mg/l con los cuales se obtiene los máximos porcentajes de remoción de carga contaminante, con una eficiencia de remoción para la Turbiedad del 71.16 %, para la DBO₅ una eficiencia de 73.79% y para la DQO 66.26% de eficiencia; a una temperatura promedio de 14 C°, y un pH de 7.5.

Ortigoso (2019) en su investigación que realizó sobre, *“Bioadsorción con Cáscaras de”*

Naranja (citrus sinensis) en aguas contaminadas por Anilina de la Empresa Mantaros.a.– Huachipa 2018”, planteó como objetivo: Evaluar la eficiencia de bioadsorción concáscara de naranja “Citrus sinensis” en la remoción de anilina en una muestra del efluentede la Empresa Mantaro S.A. Dentro de la metodología de estudio se planteó obtener el biosorbente mediante un tratamiento de reducción de tamaño y la extracción de la grasamediante el método Soxlhet , mientras que para la remoción del pigmento se realizó el tratamiento con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$; para el tratamiento del agua se usó el sistema de jarras conlas diferentes dosis como son 5, 10 y 20g de coagulante/litro como tratamientos, el trabajose acondicionó al diseño completo al azar con 3 tratamientos y 3s repeticiones, obteniéndose como resultado una mayor eficiencia del 62.6% de reducción en el color con una dosis de 20g/L de biosorbente, con un tiempo de 120 minutos, encontrándose mejoras en pH de 7.7, conductividad de 39.8ms/cm, sólidos suspendidos 1263mg/l. todosellos correspondiente al tercer tratamiento, concluyéndose que la cáscara de naranja comoresiduo sólido es un bioacumulador de anilina.

Párraga (2018) en su investigación que realizó sobre: *“Eficacia de la bioadsorción mediante la mezcla de la cáscara de Lima y Naranja a diferentes concentraciones de lasaguas del río Rímac – Lima 2018”*”, planteó como uno de sus objetivos específicos: Determinar la dosis más favorable de la mezcla de cáscara de lima y naranja necesaria para reducir el Pb de las aguas provenientes del río Rímac, poblado San Jerónimo de Surco. Dentro de la metodología se sabe que las aguas contienen elevadas concentraciones de metales pesados, es así que se procedió a implementar un tratamiento basado en la bioadsorción por dosis de la mezcla de la cáscara de lima y naranja, puesto que estos compuestos orgánicos poseen paredes celulares que con intercambio iónico pueden reducir los metales en aguas. El tratamiento se desarrolló con distinta concentración y granulometría, empelando una relación de 1:1 , se utilizó 10g (5g de limay 5g de naranja), 15g (7.5g de lima y 7.5g de naranja) y 20g (10g de lima y 10g de naranja), con diferentes tipos de mallas 0.425 mm, 1mm y 2mm, con un métodoestacionario

en un tiempo de 24 horas, una vez culminado el tiempo, siguió el proceso de filtración para tener la muestra disuelta; y posteriormente determinar los parámetros fisicoquímicos (pH, T°, Ce, y Eh), para poder digerir las muestras con un pH ácido de 1 a 1.5 para que el metal pueda solubilizar y finalmente determinarlo mediante absorción atómica. Concluyendo que los tratamientos 1, 2 y 3 son eficaces, siendo la más resaltante con el tamaño de partícula (2 mm) y la dosis de 15g con una reducción de plomo de 60.7%, considerando que la concentración de Pb fue en 0.1 mg/L mayor al ECAS.

Oré (2017) en su investigación que realizó sobre, *“Influencia del Sulfato de Aluminio y pH en la Remoción de la Materia Orgánica para el Tratamiento del Agua Residual del Camal municipal de Chupaca”* planteó como objetivo general Determinar la influencia del sulfato de aluminio y pH en la remoción de la materia orgánica en el tratamiento del agua residual del camal municipal de Chupaca. Dentro de la metodología empleada en esta investigación se procedió a caracterizar las aguas residuales del camal municipal de Chupaca consiguiendo como resultados para: Sólidos Totales 1613 mg/L, DQO 1696 mg O₂/L, Alcalinidad 450 mg CaCO₃/L, pH 8.12; es así que se empleó un tratamiento primario avanzado, donde se emplea los procesos de Coagulación, Floculación y Sedimentación, dichos experimentos se realizaron mediante la prueba de jarras, considerando para la dosis de coagulante 3 y 5 g/L de Al₂(SO₄)₃, pH (7 y 9) y la contaminación de las aguas residuales (1408 - 1493 mg O₂/L). Concluyendo que pH y la Concentración del Al₂(SO₄)₃ influyen en la Remoción de la Materia Orgánica medido por la DQO, así mismo se tiene que el valor máximo 64.47% y mínimo 35.04% de porcentaje de remoción de DQO se obtuvo a pH de 8 y 9; con Concentración de Al₂(SO₄)₃ de 5 y 3 g/L respectivamente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia de la cáscara de naranja *Citrus sinensis* frente al sulfato de

aluminio para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao, 2022.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao, 2022.

- Determinar la eficiencia del sulfato de aluminio para la remoción de la materia orgánica la DQO medida como DQO de las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao.

- Determinar la eficiencia de la cáscara de naranja *Citrus sinensis* para la remoción dela materia orgánica medida como DQO de las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao.

1.4 Justificación

Las aguas residuales domésticas constituyen un problema que cobra mayor importancia debido al crecimiento de la población, en especial de las zonas urbanas; y, como producto de ello hay un incremento en la generación de aguas contaminadas de naturaleza orgánica. Las aguas residuales domésticas antes de ser desechadas requiriende un tratamiento adecuado para su reúso, a fin de proteger la salud pública y conservarel ambiente en su condición de cuerpo receptor, y cumpliendo con la normativa ambiental vigente para vertimientos.

Previo al tratamiento del agua residual domestica es importante conocer su composición, realizado a través de una caracterización, permitiendo de esta manera determinar y analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos presentes, a finde que se conozca el grado de contaminación, a fin de diseñar el método más adecuopara su tratamiento final.

El presente estudio pretende encontrar diferencias significativas o no significativas en el utilizar un compuesto natural como cáscara de naranja y un compuesto inorgánico como el sulfato de aluminio, de tal manera que ambos puedan ser utilizados de forma individual o

complementaria en el tratamiento de aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en Callao. Desde el punto de vista metodológico se optará por el método prueba de jarras (Jar Test), mediante un proceso de floculación-coagulación teniendo a la cáscara de naranja y el sulfato de aluminio como coagulantes y determinarsi el indicador de materia orgánica (DQO), terminado el proceso de tratamiento cumplecon los límites máximos permisibles para descargas a cuerpo receptor.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

La eficiencia de la cáscara de naranja *Citrus sinensis* frente al sulfato de aluminio permitirá conocer el grado de remoción de la materia orgánica en las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada, Callao, 2022.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- Los niveles de los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles para las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboadaen el Callao.

- El sulfato de aluminio presenta una alta eficiencia en la remoción de la materia orgánica medida como DQO de las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao.

- La cáscara de naranja *Citrus sinensis* presenta una mediana eficiencia en la remoción de la materia orgánica medida como DQO de las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases Teóricas sobre el Tema de Investigación

2.1.1 Agua Residual

El “Agua residual”, es el término compuesto que se emplea para referirse a aguas de calidad bajas, la cual presenta gran concentración de contaminantes y microbios, las aguas residuales son mezclas compuestas de materia orgánica e inorgánica y compuestos artificiales: grasas, proteínas, aminoácidos, ácidos volátiles, Na, Ca, K, S, nitratos, fosfatos, metales pesados, microorganismos: bacterias, virus, entre otros.

Las aguas residuales son aquellas aguas recolectadas de aglomeraciones urbanas, producidas por vertidos de actividad humana domestica (aguas residuales domesticas) o la mezcla de estas con las procedentes de actividades comerciales, industriales y agrarias integradas en el núcleo urbano, así como las aguas de lluvia (López, 2019).

2.1.2 Clasificación de las Aguas Residuales

➤ Aguas blancas o pluviales

Son aguas procedentes de drenajes o de escorrentía superficial, que por lo general tienen poca contaminación; y cuyos caudales en una superficie urbanizada, son de 50 a 200 veces mayores a los correspondientes a las medias de los vertidos domésticos, comerciales e industriales. El contenido contaminante se incorpora al agua al atravesar la lluvia, la atmosfera, o por el lavado de superficies y terrenos “escorrentía superficial” (López, 2019).

➤ Aguas Negras o Urbanas

Son aquellas aguas resultantes de los vertidos de la actividad humana, domestica, comercial, industrial agrícola, etc. Sus caudales son menores y más continuos, y posee mayor contaminación. Las aguas residuales urbanas son aguas naturales contaminadas por diferentes sustancias (orgánicas, inorgánicas y microorganismos) provenientes de los vertidos de las aglomeraciones urbanas, sumado con las aguas provenientes del drenaje pluvial. Las aguas

residuales están constituidas principalmente de aguas residuales domésticas (aguas con contaminación predominantemente orgánica, lo que hace que las aguas residuales urbanas sean biodegradables, es decir: depuradas mediante tratamientos biológicos), y de aguas residuales industriales: cuando estas últimas no alteran sensiblemente las características de las aguas residuales domésticas, lo que ocurre en un gran porcentaje de los núcleos urbanos y cuando alteran de forma sensible la composición de la mezcla, se denominan aguas residuales mixtas, que son asimilables a las aguas residuales industriales (López, 2019).

2.1.3 Agua Residual Doméstica

Son aquellas aguas producidas en las residencias y comercios que poseen desechos fisiológicos, entre otros, como resultado de las actividades humanas y deben de ser dispuestas de una forma adecuada. Las aguas residuales domésticas provienen de la orina de los humanos, de la limpieza personal y de la cocina y de la limpieza de la casa, poseen gran contenido de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, legías y grasas (Janampa y Quiroz, 2021).

2.1.4 Tratamiento de las Aguas Residuales

El tratamiento de agua residual se basa en un conjunto de operaciones físicas, procesos químicos y biológicos, llamados también operaciones y procesos unitarios, las cuales tienen como objetivo eliminar los contaminantes inmersos en el agua residual, con el fin de preservar la salud pública, evitando enfermedades relacionadas con la presencia de microorganismos patógenos como bacterias, virus y parásitos en el agua residual. En el tratamiento se genera un efluente tratado o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido (biosólido o lodo) convenientes para su reúso. Las aguas residuales son producidas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales, y se pueden tratar en el lugar de origen (tanques sépticos u otros medios de depuración) o también pueden ser recolectadas y trasladadas con una red de

tuberías y bombas a una planta de tratamiento municipal (López, 2019).

➤ **Tratamiento preliminar**, el cual tiene por finalidad separar el agua residual de materias groseras que por su naturaleza ocasionan problemas de operación y/o mantenimiento en las instalaciones (maquinarias, conducciones, etc.) y unidades de depuración posteriores. Es el caso de grandes sólidos, materias flotantes de gran tamaño, gravas, arenas, sólidos de pequeño tamaño, aceites, grasas y flotantes.

Las operaciones que comprende generalmente el pretratamiento son:

- ✓ Desbaste
- ✓ Desarenado
- ✓ Desengrasado

En algunos casos se incluye pre-decantación (pozo de gruesos) pre-aireación, tamizado, homogenización de caudales, etc. En cuanto a rendimientos, se consideran los índices de contaminación considerados habitualmente en aguas residuales (DBO y SST), el efecto del pretratamiento es nulo, excepto en la eliminación de grasas (López, 2019).

➤ **Tratamiento preliminar avanzado TPA**. Es un proceso de coagulación-floculación donde se emplean dosis ideales de sales de metal o polímeros para optimizar la remoción de sólidos suspendidos y otros contaminantes que se encuentren en las aguas residuales domésticas mediante sedimentación y/o precipitación de las partículas y coloides. El TPA, es una alternativa eficiente en la descontaminación de aguas residuales, pero de todas formas se necesita realizar ensayos de laboratorio y a escala real que aporten información para aplicar este tratamiento y optimizar el proceso en condiciones específicas, desde el punto de vista operacional y de dosificación de productos químicos. El TPA puede implementarse en PTAR existente que cuente con un tratamiento primario convencional, ya que es un tratamiento que brinda una alternativa viable, que agregando sustancias alcanza excelentes remociones de DBO y SST, con niveles de producción de lodos más manejables (López, 2019).

➤ **Tratamiento Primario**, posee como finalidad la separación del agua residual y los sólidos en suspensión (insolubles) sedimentables por gravedad y los elementos solubles y coloidales (coagulación – floculación y posterior decantación), originados por la actividad industrial y que son inhibidores de la metabolización biológica. El tratamiento primario es poco efectivo en la eliminación de la materia orgánica, pero reduce un porcentaje de la DBO suspendida, es decir, asociada a los sólidos en suspensión

Dentro de los sólidos en suspensión tenemos:

✓ **Los sólidos sedimentables**: son los que sedimentan al dejar el agua residual en condiciones de reposo durante una hora, este tiempo también depende del tamaño del sedimentador.

✓ **Los sólidos flotantes**: definibles por contraposición a los sedimentables. Los sólidos coloidales (tamaño entre 3-10 micras). Los sólidos en suspensión están formados por materia orgánica, como consecuencia del tratamiento primario, se da la reducción de la DBO. El grado de reducción de estos índices de contaminación depende del proceso utilizado y de las características del tipo de agua residual a tratar.

Las operaciones más frecuentes son:

- ✓ Decantación o sedimentación primaria
- ✓ Flotación
- ✓ Tratamiento físico – químico

En los rendimientos, la reducción de sólidos en suspensión varía entre el 50% y el 70%, mientras que la reducción de la DBO es de un 25% a un 40% (López, 2019).

➤ **Tratamiento Secundario**

Este tratamiento tiene por finalidad eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de sedimentación. Este proceso biológico es un proceso natural, donde participan los

microorganismos presentes en el agua residual, y se lleva a cabo en un reactor o cuba de aireación, y los que se desarrollan en menor proporción en el decantador secundario.

Estos microorganismos, principalmente bacterias, se alimentan de los sólidos en suspensión y estado coloidal produciendo en su degradación Anhídrido Carbónico y agua, originándose una biomasa bacteriana que precipita en el decantador secundario. Así, el agua queda limpia al originarse unos fangos para los que se busca una forma de eliminar. Las estructuras empleadas para el tratamiento secundario incluyen filtros de arena intermitentes, filtros percoladores, contactores biológicos rotatorios, lechos fluidizados, estanques de fangos activos, lagunas de estabilización u oxidación y sistemas de digestión de fangos.

Dentro de las operaciones que se emplean en el tratamiento secundario de las aguas contaminadas están:

- ✓ Proceso de lodos activados.
- ✓ Aireación u oxidación total.
- ✓ Filtración por goteo.
- ✓ Tratamiento anaeróbico.

Es así que el tratamiento secundario, es un proceso biológico que emplea bacterias aerobias como un primer paso para remover hasta el 90 % de los desechos biodegradables que requieren oxígeno. Luego de la sedimentación, el agua pasa a un tanque de aireación en donde se lleva a cabo el proceso de degradación de la materia orgánica y luego pasa a un segundo tanque de sedimentación, después al tanque de desinfección por cloro y finalmente se descarga para su reutilización. En cuanto a los rendimientos, la reducción de sólidos en suspensión va desde el 80% y el 95%, y la reducción de la DBO, entre el 85% y el 95% (López, 2019).

➤ **Tratamiento Terciario**

Son aquellos que se aplican luego del tratamiento secundario, para tener mejores rendimientos en la eliminación de la DBO y sólidos suspendidos. Su objetivo es adaptar la

calidad de las aguas residuales a las normas establecidas según el posterior uso del efluente (tratamientos de regeneración para reutilización) o el destino del medio receptor, por lo que se les conoce como tratamientos complementarios, de afino o avanzados.

Dentro de sus objetivos, incluyen la eliminación de nutrientes (para evitar problemas de eutrofización), metales, etc., y la reducción de cargas excepcionales de tipo puntual o estacional.

Los procesos más empelados son:

- ✓ Filtración.
- ✓ Nitrificación.
- ✓ Adsorción sobre carbón activado.
- ✓ Intercambio iónico.
- ✓ Osmosis inversa.

Con este tratamiento se logran rendimientos del 95%-96% en la eliminación de sólidos suspendidos y del 95-98% en la DBO (López, 2019).

2.1.5 Parámetros Analizados en las Aguas Residuales Domésticas

✓ Parámetros Físicoquímicos

Los análisis físicos de las aguas residuales son las siguientes:

➤ **Temperatura:** La temperatura del agua es un parámetro importante porque afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la solubilidad del oxígeno y la actividad microbiológica entre otros (López, 2019).

➤ **Potencial de Hidrógenos:** La expresión para medir la concentración del ión hidrógeno en una solución está en términos del pH, el cual se define como el logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno. El rango varía de 0 a 14, siendo 7 el rango promedio (rango neutral). Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica un rango básico. Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 6,5

y 8,5. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua. El pH tiene una gran influencia en la coagulación (López, 2019).

➤ **Turbidez:** La turbidez es un efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan mediante una muestra de agua; la turbidez en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etc. Actualmente el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelométrico, UTN. Entre mayor sea la intensidad de luz dispersada mayor será la turbiedad. La determinación de turbidez es de gran importancia en aguas para consumo humano y en una gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas. Los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua (Pérez, 2015).

✓ **Parámetros Químicos**

➤ **Materia Orgánica,** es el responsable del color amarillento negruzco que se observa a veces en el agua y que la caracterización de material orgánico depende del principio del que deriva y de la degradación biológica y química (López, 2019).

➤ **DQO:** medida del oxígeno no equivalente a la porción de materia orgánica de la muestra que es susceptible a oxidación por un oxidante químico fuerte. También llamada demanda inmediata es la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en un agua sin intervención de los organismos vivos. La determinación se puede hacer en medio alcalino o en medio ácido, la DQO diferencia de la DBO, es el corto tiempo que se requiere

para su evaluación, debido a que necesita de unas 3 horas para la oxidación en comparación de los 5 días que se necesitan para analizar la DBO. A pesar de ello presenta una limitante al oxidarse por completo los compuestos orgánicos e inorgánicos al realizar este proceso (López, 2019).

➤ **DBO:** La determinación de la DBO, es una prueba empírica en la que se emplean métodos estandarizados de laboratorio, para determinar requerimientos relativos de oxígeno de las aguas residuales, efluentes tratados y aguas contaminadas. La prueba mide el oxígeno utilizado durante un periodo de incubación especificado, para la degradación bioquímica de la materia orgánica, y el oxígeno utilizado para oxidar materia orgánica como los sulfuros y el ion ferroso. el análisis se debe realizar por unos 5 días a 20°C en una incubadora, proceso en el cual se oxida alrededor del 75 a 80% de la materia orgánica. Pero para poder oxidar toda la materia orgánica presente en la muestra se requieren de 20 a 25 días (López, 2019).

➤ **Aceites y Grasas:** Los AyG que encuentran en el agua están en forma de emulsiones o saponificadas bajo la acción de productos químicos, detergentes, etc. La presencia de AyG es un problema para el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Independiente del origen doméstico, una parte de estos productos puede generarse de vertidos intempestivos que puede ser útil descubrirlos en ciertos sectores de captación de las aguas residuales; sin embargo, pueden también provenir de la biomasa (López, 2019).

✓ **Parámetros Microbiológicos:**

➤ **Coliformes totales:** Son bacilos gram negativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados. Los coliformes forman parte varios géneros: Escherichia, Enterobacter, Klebsiella, Citrobacter, etc. Pueden encontrarse en el intestino del hombre y de los animales, pero también en otros ambientes: agua, suelo, plantas, cáscara de huevo, etc.

➤ **Coliformes fecales:** Los coliformes fecales o termotolerantes forman parte del total del grupo coliforme, son bacilos Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con

producción de ácido y gas a 44.5°C. La mayor especie del grupo coliforme fecal es *Escherichia Coli* que además es el índice de contaminación fecal más adecuado (López, 2019).

2.1.6 Medición de la Materia Orgánica

Para determinar la materia orgánica se necesitan diferentes parámetros, donde cada uno no es necesariamente comparable con los otros, ya que cada parámetro calcula una cantidad diferente de material orgánica en el mismo desecho. Dentro de los parámetros más relevantes tenemos:

✓ **DBO:** Es la cantidad de oxígeno que se emplea para la oxidación biológica del material orgánico a 20 °C en un tiempo determinado.

La medición de dicho parámetro indica la cantidad de materia orgánica que se puede consumir u oxidar una población bacteriana en una muestra de agua. Consiste en la comparación del Oxígeno Disuelto inicial de la muestra con el OD presente en otra muestra parecida luego de ser incubada durante 5 días (tiempo estándar establecido para que las bacterias digieran la MO que se encuentra en la muestra), obteniéndose como resultado la DBO5 la cual se expresa en miligramos de OD por litro (mg O₂/L). Cuando se descargan aguas con DBO elevada en un cuerpo de agua, las bacterias y otros microorganismos disponen de una rica fuente de alimentos, lo que genera una rápida reproducción. Las grandes cantidades de bacterias consumen el oxígeno del agua. Si la DBO del efluente es muy elevada, o el cuerpo receptor no puede diluirla hasta lograr un nivel seguro, la cantidad de OD se reduce de manera que los peces y otros organismos acuáticos mueran asfixiados (Villanueva y Yance, 2017).

✓ **DQO:** Es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar contaminantes (orgánicos e inorgánicos) con reacciones químicas (Villanueva y Yance, 2017).

2.1.7 Coagulación y Flocculación

Son procesos fisicoquímicos utilizados para eliminar las partículas coloidales de las aguas residuales. Este proceso se lleva a cabo al añadir un agente coagulante, el cual cancela

las cargas electrostáticas de las partículas al tiempo que origina una compresión de la capa difusa que rodea los coloides, lo que permite la formación de flóculos a través de un mecanismo de puentes entre partículas, ocasionando una malla porosa en función de su radio efectivo, facilitando así la formación de macro flóculos. Muchos coagulantes son ampliamente utilizados en los procesos de tratamiento de agua, estos coagulantes pueden clasificarse en coagulantes inorgánicos, polímeros orgánicos sintéticos y coagulantes de origen natural (Bravo, 2017).

2.1.8 Coagulación

Se llama coagulación al proceso de desestabilización de partículas que se encuentran suspendidas en el agua mediante la remoción de fuerzas que las mantienen separadas, el color y turbiedad son características que se tienen en cuenta para su tratamiento, las partículas que conforman dichas características presentan cargas eléctricas por lo general negativas, las cuales son resultado de reemplazos isomórficos, ionización por disociación en el agua y adsorción preferencial producido en la superficie del coloide. Esta carga neta genera una fuerza de repulsión la cual impide la aglomeración de las partículas una vez que estas se juntan entre sí manteniéndolas dispersas sin alcanzar la sedimentación de las mismas. Con estos coloides acuden contraiones del medio dispersante para neutralizar su carga, es ahí donde se forma una capa mixta de iones adheridos a la superficie y una capa de iones difusos.

La coagulación es un proceso sumamente importante en el tratamiento convencional del agua, la cual permite la eliminación de materias en suspensión, a través de la adición de coagulantes químicos, cuyo uso genera desventajas como son los costos elevados de obtención, generación desmesurada de lodo y variación del pH en las aguas tratadas (Solano y Cevallos, 2021).

2.1.9 Mecanismos de Coagulación

La coagulación es aquel proceso de desestabilización química de partículas coloidales, constituida por diferentes reacciones físicas y químicas entre el coagulante, la parte externa de

las partículas, la alcalinidad del agua y la misma agua (Albán y Barzallo, 2021).

✓ **Compresión de la doble capa:** cuando 2 partículas similares se acercan, sus capas de difusión interactúan y generan una fuerza de repulsión, la cual está en función a la distancia que las separa, y se reduce rápidamente a medida que incrementa los iones de la carga opuesta a la partícula. Esto se logra mediante el coagulante, si la distancia de partículas es mayor, estas no se logran atraer.

✓ **Adsorción y neutralización de cargas:** Las partículas coloidales que presentan carga negativa tienen la función de atraer iones positivos que se encuentran en el agua, los mismos que forman la capa principal adherida al coloide. El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electrocinético ZETA, que rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua.

✓ **Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado:** Las partículas coloidales desestabilizadas, pueden quedarse retenidas dentro de un floc, al adicionar la cantidad requerida de coagulante, la presencia de aniones y de las partículas coloidales estimula el tiempo de formación del precipitado, una concentración superior de partículas en suspensión puede requerir cantidades menores de coagulante.

✓ **Adsorción y puente:** Las cadenas de moléculas del polímero que son extensas pueden poseer grupos químicos que adsorban partículas coloidales, es decir que pueden adsorber partículas coloidales en sus extremos, mientras que los otros sitios estén libres para la absorción de otras partículas.

Según la teoría de la doble capa, se entiende por coagulación la supresión del potencial alcanzado gracias a la adición de elementos de coagulación-floculación donde la potencia de mezcla natural del movimiento browniano no es suficiente y se necesita una energía que complemente. Al agregar un exceso de coagulante al agua que se desea tratar, se produce una reestabilización de la carga de la partícula debido al exceso de coagulante absorbido en la

superficie de la partícula, dando origen a una carga invertida a la original (Albán y Barzallo, 2021).

2.1.10 Factores que influyen en la Coagulación

Los factores que influyen en la coagulación son:

- ✓ Valencia
- ✓ Capacidad de cambio
- ✓ Tamaño de las partículas
- ✓ Temperatura
- ✓ Concentraciones de iones H o pH
- ✓ Relación cantidad-tiempo
- ✓ Alcalinidad (Albán y Barzallo, 2021).

2.1.11 Factores que afectan el proceso de Coagulación:

Los factores principales que alteran este proceso son:

- ✓ Dosis del coagulante
- ✓ pH
- ✓ Concentración de coloides o turbiedad
- ✓ Color o concentración de sustancias orgánicas
- ✓ Aniones y cationes presentes en el agua
- ✓ Fuerza de la mezcla rápida y velocidad en la mezcla lenta
- ✓ Movilidad de las partículas
- ✓ Temperatura del agua (Albán y Barzallo, 2021).

2.1.12 Tipos de Coagulación

Existen dos tipos de Coagulación:

- ✓ **Coagulación por adsorción** Se realiza cuando hay una elevada congregación de partículas en estado coloidal presentes en el componente hídrico, el momento que el coagulante

es añadido al recurso hídrico con turbidez los componentes solubles de los coagulantes son absorbidos por los coloides y se conforman los flóculos de manera rápida (Córdova, 2019).

✓ **Coagulación por barrido** Se lleva a cabo cuando el agua se encuentra con mínima turbidez y el contenido de partículas es baja, en esta situación se retienen las partículas al obtenerse sobresaturación de precipitaciones de Sulfato de aluminio (Córdova, 2019).

2.1.13 Floculación

La floculación es el proceso donde se agitan las masas coaguladas, incrementando su tamaño y peso para sedimentarse rápidamente debido a los puentes entre partículas coloidales aglomeradas. Además el floculante puede ser orgánico e inorgánico según su naturaleza química, los orgánicos son polisacáridos que presentan grupos activos en toda su cadena, se pueden encontrar como productos iónicos, catiónicos y aniónicos por lo que se emplean con frecuencia en industrias químicas por su eficiencia a baja concentración al igual que los orgánicos sintéticos (polímeros) y los floculantes inorgánicos son sales formadas por cationes polivalentes como sales de hierro, aluminio y de sílice fáciles de disolverse en agua (Flores, 2020).

En la floculación existen 2 tipos de procesos: primero la floculación peri-cinética inducida por la energía térmica y desplazamiento de las moléculas de agua menores a 1 micrón durante 6 a 10s del inicio del proceso (movimiento browniano), y el segundo proceso llamado floculación orto-cinética que se manifiesta luego de la peri-cinética y está definida por la colisión de partícula mediante movimiento mecánico e hidráulico del agua a distintas velocidades, originando la aglomeración de los flóculos y la probabilidad de colisión en partículas mayores a 1 micrón en un tiempo de 20 a 30 minutos.

2.1.14 Parámetros de la Floculación

Los siguientes parámetros caracterizan la floculación, por lo tanto, influyen en la calidad final del agua:

- ✓ Floculación orto-cinética,
- ✓ Gradiente de velocidad (define la velocidad de aglomeración de las partículas en el agua de forma decreciente sin exceder los límites máximos para evitar que el flóculo se rompa)
- ✓ Número de colisiones entre micro flóculos,
- ✓ Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en el proceso de floculación),
- ✓ Densidad y tamaño del flóculo (que es reflejado de manera proporcional a la concentración de las partículas
- ✓ Volumen de lodos que son los flóculos (Flores, 2020).

Los flóculos son producto de la unión de las partículas descargadas al entrar en contacto entre sí; puede ser originada por la colisión en medio de las partículas, puesto que una vez que se acercan a las regiones sólidas las fuerzas de Van der Waals tienen mayor poder sobre las fuerzas de repulsión, por la reducción de la carga eléctrica que genera el decrecimiento de la repulsión eléctrica. Existen 3 tipos de floculantes, los aniónicos, los catiónicos y no iónicos.

Los aniónicos se emplan para sedimentar partículas minerales; los catiónicos en la sedimentación de partículas de origen orgánico y los no iónicos en la sedimentación de partículas orgánicas e inorgánicas (Solano y Cevallos, 2021).

2.1.15 Factores que Influyen en la Floculación

Igual que en la coagulación, para la floculación existen parámetros que benefician o perjudican el proceso y que están relacionados con la naturaleza del agua, el tiempo de floculación, gradiente de velocidad y variación del caudal.

- ✓ **Naturaleza del Agua:** Las características fisicoquímicas del agua influyen en la coagulación y floculación, algunos iones que se encuentran en las aguas afectan el tiempo de floculación. La concentración y naturaleza de las partículas que se encuentran en suspensión en el agua varían la velocidad de floculación puesto que esta es proporcional a la concentración y al tamaño inicial de las partículas.

✓ **Tiempo de Floculación:** Hay un tiempo ideal de floculación el cual se calcula mediante prueba de jarras, y se debe considerar para conocer el tiempo que debe estar el agua en el tanque floculador. La permanencia del agua en un tiempo inferior o superior al óptimo genera resultados inferiores; y más acentuado es este cuanto más alejado este del tiempo óptimo

✓ **Gradiente de Velocidad:** se necesita ajustar la gradiente de velocidad de forma decreciente ya que, a mayor gradiente de velocidad, mayor velocidad de floculación; pero a medida que los flóculos incrementan su tamaño, las fuerzas de cizallamiento desintegran los flóculos. La resistencia de los flóculos depende de su tamaño, forma y compactación; asimismo, del tamaño, forma y naturaleza de las partículas que los componen; y del número y forma de los ligamentos que unen estas partículas

✓ **Variación del Caudal:** La variación de este factor genera variaciones en otros factores, estos son: el tiempo de floculación y el gradiente de velocidad. Al reducirse el caudal, incrementa el tiempo de retención y se reduce la gradiente de velocidad. Al aumentar el caudal, el tiempo de retención se reduce y el gradiente de velocidad aumenta (Albán y Barzallo, 2021).

2.1.16 Coagulantes-Floculantes Inorgánicos

Son los más empleados en el tratamiento de aguas residuales, gracias a su rendimiento, disponibilidad, costo y efectividad; tienen la capacidad de actuar como coagulantes y floculantes, cuando son disueltos estos forman compuestos complejos hidratados. Dentro de los más empleados tenemos: sulfato de aluminio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloruro férrico y el aluminato de sodio. Aunque estas sales químicas, poseen alta capacidad de coagulación-floculación, pueden llegar a ser nocivos para la salud humana y el medio ambiente (Bravo, 2017).

2.1.17 Coagulantes-Floculantes Naturales

Son fuentes alternativas con un gran potencial, gracias a que son biodegradables y no generan daños al ambiente en comparación con coagulantes inorgánicos. En su mayoría son de

origen vegetal, con presencia de agentes coagulantes activos como carbohidratos, taninos y proteínas. Algunas especies vegetales que presentan estudios realizados son las semillas de una enorme variedad plantas, cáscaras de diferentes frutas, entre otros (Bravo, 2017).

2.1.18 Sedimentación

Gracias a la precipitación de partículas suspendidas producidas por la gravedad en el proceso de filtración, la precipitación también puede darse en materiales suspendidos grandes y densos, que tienen una elevada velocidad de sedimentación en el área donde la altura de agua del lecho es baja. Debido a la gravedad, se eliminan las partículas más pequeñas que los poros, lo que ocasiona que se depositen en la superficie de las partículas del lecho del filtro (Solano y Cevallos, 2021).

La sedimentación es la separación de partículas sólidas suspendidas en un líquido, que se produce por asentamiento gravitacional, donde el peso de dichas partículas es mayor que la del agua (Córdova, 2019).

2.1.19 Naranja Dulce (*Citrus sinensis*)

El Naranja dulce es un híbrido del cruce de la mandarina y toronja, y es una de las frutas más cultivada a nivel mundial, del cual se aprovecha su fruto, madera y aceites. La cáscara de naranja es la capa protectora del fruto en la que se halla la mayor parte de los nutrientes de la cual se benefician las frutas durante su crecimiento color, acidez, dulzor, etc.

➤ **Morfología de la Naranja** Todo fruto ácido cuentan con 3 segmentos: Epicarpo o Flavelo, Mesocarpo o Albedo y Endocarpo.

✓ El Flavelo: es la parte externa que protege al fruto la que da color al fruto y donde se están los aceites y grasas.

✓ El Albedo es la parte blanca del fruto.

✓ El Endocarpo es el conductor de agua y alimento entre la corteza y el fruto está constituido por los segmentos.

➤ **Pectina** sustancia que se encuentran en células de la capa de los frutos cítricos como naranjas, toronjas, limones y manzanas. Siendo un polisacárido de cadena larga

➤ **Cáscara de Naranja** es la capa protectora del fruto en la cual se encuentra la mayor parte de los nutrientes de la cual se benefician las frutas durante su crecimiento color, acidez, dulzor, etc.

El proceso de absorción de la cáscara de naranja se define como proceso de absorción de átomos el cual es esencial como coagulante en las aguas grises, la concentración se adhiere al soluto de manera rápida modificando la composición del soluto (Aguilar, 2019).

2.1.20 Sulfato de Aluminio

El sulfato de aluminio es una sal sólida de color blanco, que puede encontrarse como: molido fino, molido grueso y superfino, y que se usa fundamentalmente para el tratamiento del agua potable y residual, utilizado como agente coagulante y floculante primario, el cual se caracterizándose por agrupar los sólidos suspendidos en el agua y acelerar la sedimentación para su separación, también ayuda a la eliminación de bacterias y contribuye a la reducción de fósforo en plantas de tratamientos de efluentes; en la industria de madera y papel se emplea para ajustar el pH, para el encalado y para ajustes de retención, además de ayudar con los tratamientos de los efluentes; en la industria farmacéutica es utilizado como astringente en la preparación de drogas y cosméticos; en la industria petroquímica se emplea en la manufactura de catalizadores sintéticos; en la industria química se usa como materia prima para producir diversas sales de aluminio; y en la jardinería como el sulfato de aluminio en medio acuoso es ácido es añadido a los suelos alcalinos para estabilizar el pH. Es importante conocer la cantidad a emplear de este agente coagulante, la cual se conoce en los procedimientos como el Ensayo de Jarras, puesto que si se agrega más coagulante de la que se necesita se daría una inversión de las cargas, lo que provocaría que el coloide nuevamente presente una carga eléctrica negativa y por ende no se obtenga la remoción de la turbidez, ocurriendo lo mismo si el pH del fluido

no está en el rango óptimo del agente coagulante a emplear; por otro lado se tiene que si la cantidad de coagulante no es la necesaria no se obtendrá una neutralización total de las cargas totalmente y la formación de los flóculos será mínima (Cabrera, 2019).

2.1.21 Ensayo de Jarras

Es la prueba más representativa para determinar el comportamiento de los coagulantes y floculantes a escala pequeña es el Ensayo de “Prueba de Jarras”. Es un método de simulación de los procesos de Coagulación y floculación, realizado a nivel de laboratorio; los flóculos formados con diferentes dosis del coagulante dan como resultado valores de turbiedad diferentes. El objetivo fundamental es determinar las variables físicas y químicas de los procesos de coagulación; floculación y sedimentación; tales como: selección del coagulante; selección del pH óptimo; gradientes y tiempos de mezcla rápida y floculación, correlación de las velocidades de sedimentación y la eficiencia de remoción, entre otros.

En este proceso influyen factores químicos e hidráulicos, los cuales son:

- pH
- Temperatura
- Concentración de coagulante
- Secuencia de aplicación de las sustancias químicas
- Grado de agitación
- Tiempo de sedimentación

El procedimiento necesita como datos previos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda. La unidad de mezcla típica consiste en una serie de agitadores de paletas acoplados mecánicamente para operar a la misma velocidad, generalmente entre 10 a 300 RPM. Como jarras de coagulación se recomienda, jarras rectangulares de 1 a 2 litros en acrílico transparente (Oré, 2019).

2.1.22 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – Taboada

El proyecto fue concebido en el año 2009 como un proyecto de inversión pública, el cual quedo como concesión por 25 años por una empresa del sector privado, para tratar las aguas servidas de 4 millones de habitantes de 27 distritos. La planta se localiza la Provincia del Callao, Departamento de Lima, exactamente en el cruce de las avenidas Néstor Gambetta y Elmer Faucett, teniendo como referencia al Ovalo Cantolao, esta planta de tratamiento tiene una extensión aproximada de 10 000 m².

El tratamiento de la planta es denominado Tratamiento Primario Avanzado, el cual trata en la separación de la parte sólida que se encuentra en el agua residual por medio de un sistema de filtros automatizados. Para comenzar el caudal que ingresa diariamente a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, oscila entre 14 m³ /s a 20 m³ /s, el cual pasa por un sistema de rejillas de 25mm, luego sigue su recorrido por unos canales a unas cámaras de bombeo, luego pasa por un sistema de rejillas de 6mm mecanizada. Estas partes retenidas pasan por un proceso de lavado y son llevadas por un canal a otro proceso en el cual se retira la parte húmeda de los sólidos para que estos puedan ser llevados hacia un relleno sanitario. Finalmente tienen un proceso de desarenado y desengrasado, con esto se obtiene un efluente con las condiciones necesarias para poder ser llevado al siguiente proceso en el emisario submarino. Este emisario submarino corresponde a un emisor y a los difusores. A través de estos difusores se bombea el efluente al cuerpo receptor a través del cual se realizará la dilución de los componentes residuales que permita cumplir con los parámetros de calidad exigidos (López, 2019).

2.1.23 Definición de Términos

➤ **Sulfato de Aluminio:** de fórmula $Al_2(SO_4)_3$, es sólido y blanco, se usa como floculante en la purificación de agua potable y en la industria de papel, cuando el pH del agua es débilmente ácido, neutro débilmente alcalino, el aluminio precipita arrastrando las partículas en suspensión dejando el agua transparente (Janampa y Quiroz, 2021).

➤ **Agua residual doméstica:** son las aguas de nacimiento domésticas de comercios o

instituciones que contienen desechos fisiológicos entre otros que son producidos por los humanos (Janampa y Quiroz, 2021).

➤ **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).

➤ **Coagulación:** son aglomeraciones de partículas coloidales ($< 0,001$ mm) y dispersas ($0,001$ a $0,01$ mm) en coágulos visibles, por adición de un coagulante.

➤ **Coagulante:** Electrolito simple, usualmente sal inorgánica, que contiene un catión multivalente de hierro, aluminio o calcio. Se usa para desestabilizar las partículas coloidales favoreciendo su aglomeración (Ortigoso, 2018).

➤ **DQO:** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio (Ortigoso, 2018).

➤ **DBO:** Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C) (Ortigoso, 2018).

➤ **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).

➤ **Eficiencia de Tratamiento:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje (Ortigoso, 2018).

➤ **Grado de Tratamiento:** Eficiencia de remoción de una planta de tratamiento de aguas residuales para cumplir con los requisitos de calidad del cuerpo receptor o las normas de reúso (Ortigoso, 2018).

2.1.24 Base Legal Ambiental

➤ **La Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II: Del Ambiente y los Recursos Naturales.** La Constitución Política del Perú de 1993, en su artículo 2º, inciso 22, establece que “Toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida”. Asimismo, los artículos 66º, 67º, 68º y 69º establecen que los recursos naturales, renovables y no renovables son patrimonio de la Nación, siendo el Estado el promotor del uso sostenible de éstos.

➤ **La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611,** el estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de reutilización considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria de reúso sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizan. Además, regula los vertimientos autorizándolas, siempre y cuando el cuerpo receptor lo permita.

➤ **Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos** Deroga el Decreto Legislativo Nro. 17752 – Ley General de Aguas. Regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta (MINAM, 2009). Los capítulos VI y VII de la Ley de Recursos Hídricos regula el vertimiento y reúso de las aguas residuales tratadas estableciendo entre otros aspectos:

- Define a la Autoridad Nacional del Agua como responsable del control de los vertimientos y reúso autorizados.
- Define las condiciones y procedimientos para la autorización del vertimiento y reúso de las aguas residuales tratadas.
- Prohíbe el vertimiento o reúso del agua residual sin tratamiento.
- Autorizar el vertimiento del efluente de la PTAR a un cuerpo natural, estableciendo el cumplimiento de los LMP y de los ECA en el cuerpo de agua.³⁶

- La obligación de instalar sistemas de medición del caudal del efluente en las PTAR.

➤ **Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos**, Deroga indica que la protección del aguatiene como fin 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.

➤ **Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM**. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Compila las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N°002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N°023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N°015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo.

Las categorías establecidas para los estándares de calidad ambiental para agua son:

- ✓ Categoría 1: Poblacional y Recreacional.
 - ✓ Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales.
 - ✓ Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.
 - ✓ Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.
- **Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM**. Aprueban Límite Máximo Permissible LMP Para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda, con la finalidad de controlar excesos en los niveles de concentración de sustancias físicas, químicas y biológicas presentes en efluentes o emisiones, para evitar daños a la salud y al ambiente.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación desarrollada es de tipo aplicada, ya que busca generar nuevos conocimientos, a partir de una información básica ya conocida, el cual nos permite finalmente resolver un problema. En tal sentido, se pretende conocer las eficiencias de dos sistemas de tratamiento uno de naturaleza orgánica y otro de naturaleza inorgánica basados en la remoción de la DQO en efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas de Taboada en el Callao.

El diseño metodológico desde un punto de vista cuantitativo viene a ser experimental, porque se va a manipular de manera intencional la variable independiente “Eficiencia de la cáscara de naranja “*Citrus sinensis*” frente al sulfato de aluminio” con diferentes concentraciones, con el objetivo de observar cambios en la variable dependiente “Remoción de la Materia Orgánica”.

3.2 Ámbito temporal y espacial

3.2.1 Ámbito temporal

El desarrollo del presente plan de tesis se iniciará con la búsqueda de referencias bibliográficas en octubre del 2021, para lo cual se considerará investigaciones comprendidas entre los años 2005 y 2021. El desarrollo experimental se ha programado llevarlo a cabo entre febrero y mayo del 2022; con una redacción final del trabajo de investigación para junio del 2022.

3.2.2 Ámbito espacial

El ámbito espacial corresponde a dos lugares específicos, el primero corresponde a la identificación del lugar donde será tomada la muestra de campo y selección de la unidad experimental, que se realiza en base a un monitoreo en la Planta de Tratamiento de Agua Residual “Taboada” ubicada en el distrito de Callao, cuyas coordenadas geográficas son: 267

602.86 m. E y 8 673 371.90 m. N; y se encuentra a nivel del mar. La determinación de los parámetros del agua residual, además de la prueba de Jar Test, se realizarán en el laboratorio LAGEMA-FIGAE del Anexo 07 de la Universidad Nacional Federico Villarreal, con coordenadas geográficas 277 097 E y 8 667 468 N.

3.3 Variables

3.3.1. Variable Independiente

- Eficiencia de la cáscara de naranja *Citrus sinensis* frente al sulfato de aluminio.

3.3.2. Variable Dependiente

- Remoción de la Materia Orgánica.

Tabla 1*Operacionalización de Variables de Investigación*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala	
V.I Eficiencia de la Cáscara de Naranja <i>Citrus sinensis</i> frente al sulfato de aluminio.	La cáscara de naranja es la capa protectora del fruto en la cual se encuentra la mayor parte de los nutrientes de la cual se benefician las frutas durante su crecimiento color, acidez, dulzor, etc. (Aguilar, 2019) El sulfato de aluminio es una sal sólida de color blanco, que puede encontrarse: molido fino, molido grueso y superfino, y que se usara para el tratamiento del agua potable y residual, utilizado como agente coagulante y floculante primario, el cuál agrupa los sólidos suspendidos en el agua y acelerar la sedimentación para su separación (Cabrera, 2019).	La eficiencia de la cáscara de naranja frente al sulfato de aluminio para lograr una eficiente remoción de M.O Se basa en la dosis del coagulante, concentración, volumen, tiempo de agitación etc. y se escogerá como dosis optima aquella que remueva la mayor cantidad.	VARIABLES DEL FLOCULADOR	Volumen	L	
				Tiempo	Minutos	
				Revoluciones	rpm	
				CÁSCARA DE NARANJA	Concentración	%
					Dosis	ml
					Concentración	%
SULFATO DE ALUMINIO	Dosis	ml				
V.D Remoción de la Materia Orgánica	La Remoción de la M.O se logra con procesos fisicoquímicos utilizados para eliminar las partículas coloidales de las aguas residuales. Este proceso se lleva a cabo al añadir agentes coagulantes y floculantes, en procesos de floculación y coagulación, donde se logra la purificación de aguas, remoción de impurezas coloidales y disueltas, produciendo flóculos (Bravo, 2017).	La remoción de la materia orgánica presente en las aguas residuales domesticas será evaluada a través de los parámetros de pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, DQO y DBO, cuyo indicador será medido a través del porcentaje de eficiencia para cada caso en particular.	PARAMETROS FISICOSQUIMICOS	Temperatura	°C	
				Conductividad Eléctrica	uS/cm	
				Potencial de hidrógenos	Unidad de pH	
				PARÁMETROS QUIMICOS	DQO	mg/l
					Eficiencia	%

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población de nuestro trabajo de investigación corresponde al caudal de tratamiento que ingresa a la Planta de Tratamiento Taboada en la provincia del Callao. El punto donde se tomará como población corresponde a una cámara de almacenamiento, previo al inicio del tratamiento de las aguas residuales domésticas, el cual tiene un caudal medio de 14 m³ /s.

3.4.2. Muestra

La muestra considerada será de 30 litros de agua residual proveniente de la Planta de Tratamiento “Taboada” los cuales se destinarán para ser tratados a través del proceso de coagulación con cáscara de naranja (15 L) y sulfato de aluminio (15 L) con el objetivo de remover la materia orgánica expresada como DQO del efluente en estudio.

3.5. Instrumentos

3.5.1. Técnicas

- Protocolo para la toma de muestras.
- Protocolo de bioseguridad de laboratorios.
- Métodos Estandarizados para el análisis de aguas residuales.

3.5.2. Instrumentos

- Cadena de Custodia de las muestras.
- Fichas para la recolección de datos.

3.5.3. Equipos

- Balanza Analítica, marca SARTORIUS.
- Floculador Programable, marca PHIPPS & BIRDTM.
- Conductímetro de mesa, marca HANNA.
- Turbidímetro, marca HACH
- Multiparámetro portátil, marca HANNA.

- Colorímetro Digital, modelo DR/890, marca HACH.
- Reactor Digital, Marca Hach.

3.6. Procedimiento

Para el desarrollo del trabajo de investigación se planeó trabajarlo considerando tres principales: i) Monitoreo para la toma de muestra, ii) Desarrollo experimental y iii) Determinación final de los parámetros fisicoquímicos.

3.6.1. Monitoreo para la toma de muestra

- Se seleccionó el lugar para la toma de muestra.
- Se Procedió a visitar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Taboada.
- Se solicitó la autorización respectiva para la toma de muestra.
- Se tomó una muestra de agua residual de aproximadamente 30 litros, siguiendo el protocolo establecido por el ministerio de Vivienda (RM 273-2013-VIVIENDA).
- Se procedió a las mediciones de los parámetros de campo como Temperatura, pH y Conductividad Eléctrica, previa calibración del equipo multiparámetro a utilizar.
- Se trasladó la muestra al laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE-UNFV.

3.6.2. Desarrollo experimental

Antes de iniciar la fase experimental de Jar Test en el laboratorio de la FIGAE- UNFV, se prepararán las soluciones correspondientes según se muestra a continuación:

- Se calcularon las concentraciones al 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5% para su posterior preparación, tanto para la cáscara de naranja como para el Sulfato de Aluminio.
- Se procedió a pesar 0.5 g, 1.0 g, 1.5 g, 2.0 g y 2.5 g de cáscara de naranja y $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ en la balanza analítica sobre una luna de reloj.
- Seguidamente se preparó las soluciones con la cáscara de naranja y el sulfato de aluminio para la mezcla con agua destilada y se aforó hasta 100 ml en una fiola.

- Se rotuló cada fiola con su concentración respectiva expresada en porcentaje.
- Se procedió a lavar con agua destilada cada jarra que será utilizada en el floculador el programable.
- Se midió 1 litro de muestra en una probeta, para ser añadida en cada una de las cinco jarras.
- Se procedió a verter la muestra medida en cada una de las 5 jarras a trabajar.
- Se inició las corridas experimentales primeramente con el coagulante de la cáscara de naranja, para lo cual se planeó realizarlo con una corrida inicial y dos repeticiones.
- Se procedió a añadir los 50 ml de solución a cada una de las jarras conteniendo el agua residual, de acuerdo con las siguientes concentraciones: 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5%.
- Se procedió a colocar las paletas de agitación dentro de cada una de las jarras asegurándolas con un ajuste manual.
- Seguidamente se procedió a prender el equipo y se programará inicialmente una agitación lenta de 50 RPM por 1 minuto, para homogenizar la muestra con la solución coagulante.
- Se estableció un tiempo de agitación de 30 minutos con una velocidad de agitación de 200 RPM para la mezcla final.
- Terminado el tiempo considerado, se detuvo la velocidad y se retiró los agitadores de las jarras del floculador para proseguir con la decantación por 30 minutos.
- Terminado el tiempo de sedimentación de la muestra, se extrajeron 200 ml de agua residual tratada en frascos plásticos limpios sin uso, uno por cada jarra, con la finalidad de obtener una muestra de cada jarra tratada con su respectiva dosis y proceder a realizar los análisis de los parámetros de Temperatura, pH y DQO.
- Para las dos réplicas o repeticiones se realizaron los mismos pasos considerados para 50 ml.

- Terminado los ensayos con el coagulante de la cáscara de naranja, se procedió a trabajar de la misma manera con el sulfato de aluminio, considerando las mismas concentraciones y dosis.

3.6.3. Determinación final de Parámetros Fisicoquímicos

La determinación de los parámetros fisicoquímicos se desarrolló en el laboratorio LAGEMA de la UNFV. A continuación, se muestra el procedimiento considerado para las determinaciones de los parámetros seleccionados a detalle.

Medición de la Temperatura, pH y Conductividad Eléctrica

- Se verificó que el medidor multiparamétrico se encontrara correctamente calibrado para cada parámetro a medir, por lo que se procedió a calibrarlo con los Buffer de pH 4, 7 y 10.

- Se procedió a lavar el sensor del medidor multiparamétrico con agua destilada.

- Se procedió a colocar el sensor de pH dentro de la muestra de agua residual y se esperará el tiempo necesario hasta que se estabilice la lectura del equipo.

- Se procedió a anotar los niveles de temperatura y pH mostrados en la pantalla del equipo multiparamétrico.

- Se procedió a realizar las mismas lecturas para cada una de las muestras con sus dosis respectivas de coagulantes terminada cada corrida experimental.

- Se realizaron 3 lecturas para la determinación de los parámetros de temperatura y pH.

- Finalmente se procedió a medir la Turbiedad de cada una de las muestras de agua residual tratada, teniendo las mismas consideraciones de calibrado, manejo y medición.

Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

- Inicialmente se procedió a preparar una solución de ácido sulfúrico con sulfato de plata, y se dejó reposar por 24 a 48 horas hasta su disolución completa.

- Seguidamente se procedió a preparar una muestra “blanco” que será nuestra

concentración cero para el uso del colorímetro, empleando agua destilada.

- Se utilizó de preferencia 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.

- 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.

- Se procedió a tapar los viales y se colocarán dentro del reactor para sudigestión.

- Luego 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.

- 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 3 lecturas y se procedió a comparar con el LMP sectorial.

3.6 Análisis de datos

El desarrollo del análisis de datos se llevará a cabo mediante un análisis y descripción de cada una de las variables del estudio a partir de su indicador principal como la DQO, relacionados con las dosis de los coagulantes de cáscara de naranja y sulfato de aluminio, el cual se desarrollará con el programa MINITAB. Se presentará una estadística ordenada en tablas y gráficas; en la distribución de datos y desarrollo de la prueba de normalidad se llevará a cabo una tabulación de datos cuantitativos relacionado a los indicadores en estudio considerando una matriz factorial de 1 x 3 (1 parámetros por 3 repeticiones), tomando en cuenta el ANOVA,

que incluye el grado de significancia. El análisis de datos nos permitirá conocer cuáles serán las dosis óptimas y eficiencias finales en la remoción de la materia orgánica expresada como DQO, y finalmente lograr contrastar las hipótesis de investigación.

IV. RESULTADOS

4.1 Caracterización del Agua Residual Doméstica

Los resultados obtenidos de la caracterización de las muestras de campo se presentan en la tabla 2, las mismas que fueron trasladada al laboratorio de la FIGAE-UNFV para su respectivo análisis. La comparación de los resultados se realizó de acuerdo con la norma D.S N°003-2010-MINAM, donde se establece los Límites Máximos Permisibles para aguas residuales domésticas, asimismo, cabe indicar que para el caso de la Turbiedad se tomó en consideración la Norma de Calidad Ambiental y descargas de efluentes de Ecuador.

Tabla 2

Comparación de los parámetros físico – químicos de la muestra inicial con los LMP

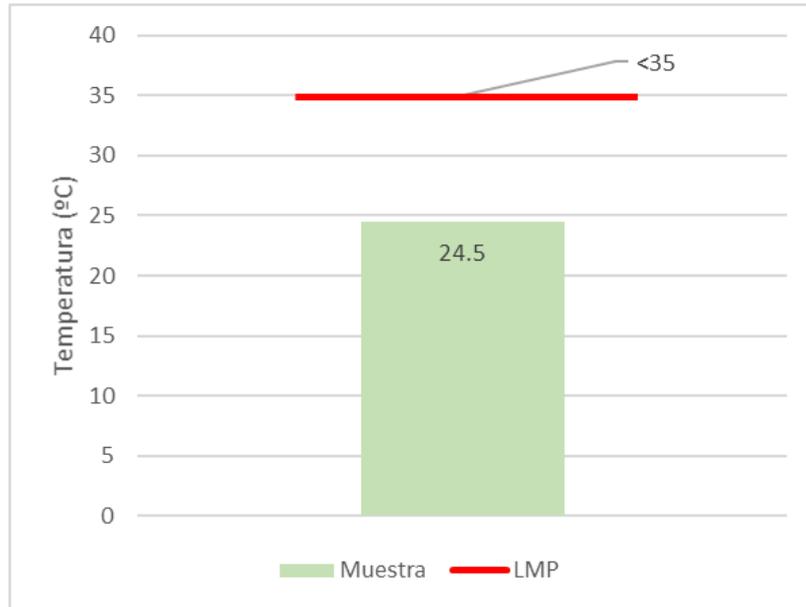
Parámetro	Valor de la Muestra	LMP	Unidad
Turbiedad	225	100 *	NTU
pH	7,38	6,5 – 8,5	-
DQO	470	200	mg/l
Temperatura	24,5	< 35 °C	°C

* LMP: Norma de calidad ambiental y descargas de efluentes de Ecuador.

Las figuras 1, 2, 3 y 4 representan los parámetros en estudio, y su comparación con los límites máximos permisibles nacionales, y una norma internacional del Ecuador para el caso de Turbiedad.

Figura 1

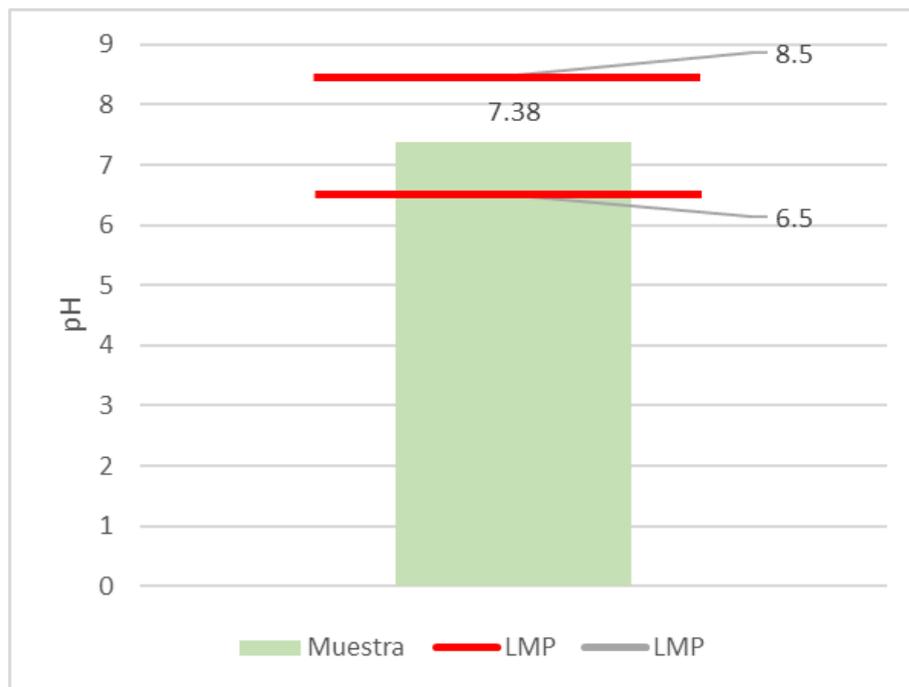
Comparación de la temperatura inicial de la muestra y el Límite Máximo Permisible



La Figura 1, muestra que la Temperatura presenta un valor de 24.5 °C encontrándose dentro de los Límite Máximo Permisible establecido en un valor menor a 35°C.

Figura 2

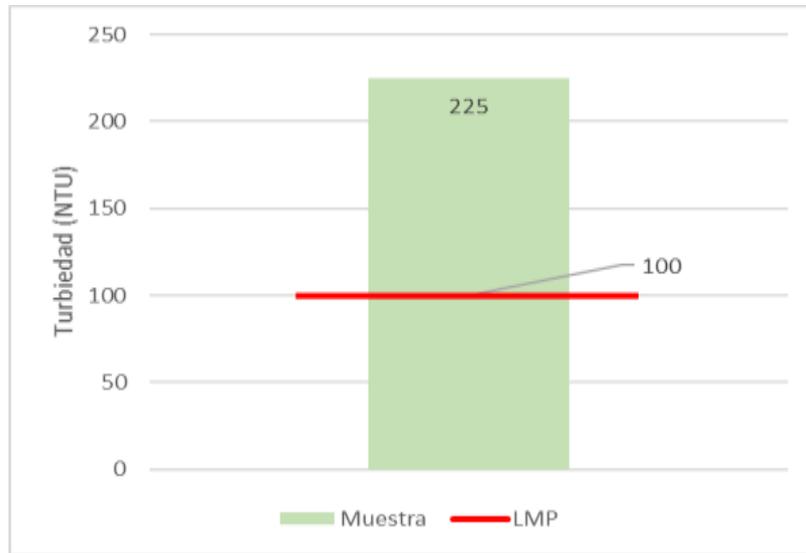
Comparación del pH inicial de la muestra y el Límite Máximo Permisible



La Figura 2, muestra que el Potencial de Hidrógenos presenta un valor de 7.38 encontrándose dentro de los Límite Máximo Permisible establecido entre 6.5 y 8.5.

Figura 3

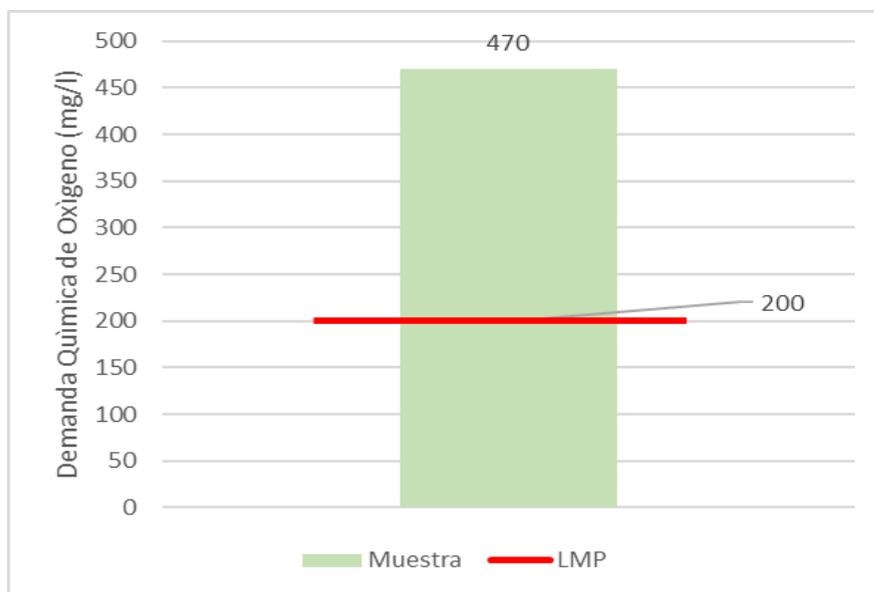
Comparación de la turbiedad inicial de la muestra y el Límite Máximo Permisible



La Figura 3, muestra que la Turbiedad presenta un valor de 225 NTU excediendo largamente el Límite Máximo Permisible establecido en un valor de 100 NTU.

Figura 4

Comparación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) inicial de la muestra y el Límite Máximo Permisible (LMP).



La Figura 4, muestra que la Demanda Química de Oxígeno presenta un valor de 470 mg/l excediendo largamente el Límite Máximo Permisible establecido en un valor de 200 mg/l.

4.2. Eficiencia del Sulfato de Aluminio

La eficiencia del Sulfato de Aluminio se determinó considerando los parámetros fisicoquímicos de Turbiedad y la Demanda Química de Oxígeno, sin embargo, también se evaluó la Temperatura y Potencial de Hidrógenos para conocer posibles variaciones ante el coagulante químico y su tendencia a exceder los Límites Máximos Permisibles.

Cada parámetro evaluado tuvo una corrida inicial con dos replicas experimentales y un volumen estándar de coagulante, establecido en 50 ml para todas dosis. Las otras variables de estudio fueron la velocidad de agitación, establecida en 250 RPM, el volumen de muestra en 1000 ml, el tiempo de agitación considerado en 30 minutos y finalmente el tiempo de sedimentación de 30 minutos. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de Temperatura, pH, Turbiedad y DQO.

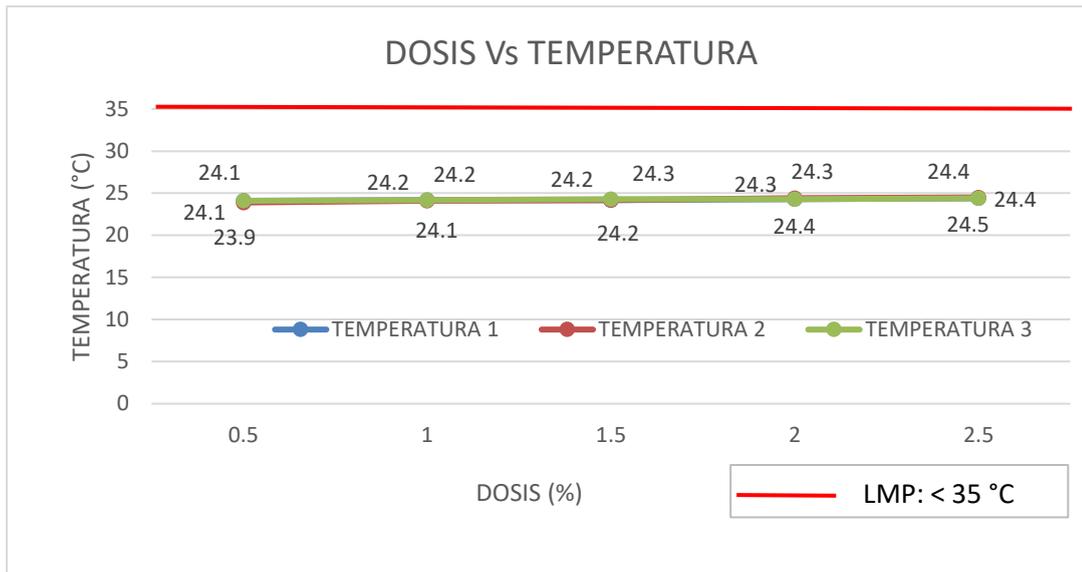
Tabla 3

Resultados de Temperatura obtenidos en las tres corridas experimentales con Sulfato de Aluminio.

Jarra	Dosis (%)	Parámetro Físico		
		Temperatura (°C) 1	Temperatura (°C) 2	Temperatura (°C) 3
1	0,5	24,1	23,9	24,1
2	1,0	24,2	24,1	24,2
3	1,5	24,2	24,2	24,3
4	2,0	24,3	24,4	24,3
5	2,5	24,4	24,5	24,4

Figura 5

Comportamiento de Temperatura con Sulfato de Aluminio con relación al Límite Máximo Permissible.



En la Figura 5, se aprecia que para las tres corridas experimentales la temperatura varía entre 23.9 y 24.5 °C, no excediendo para ninguna de las dosis del coagulante el Límite Máximo Permisible establecido en menos de 35 °C.

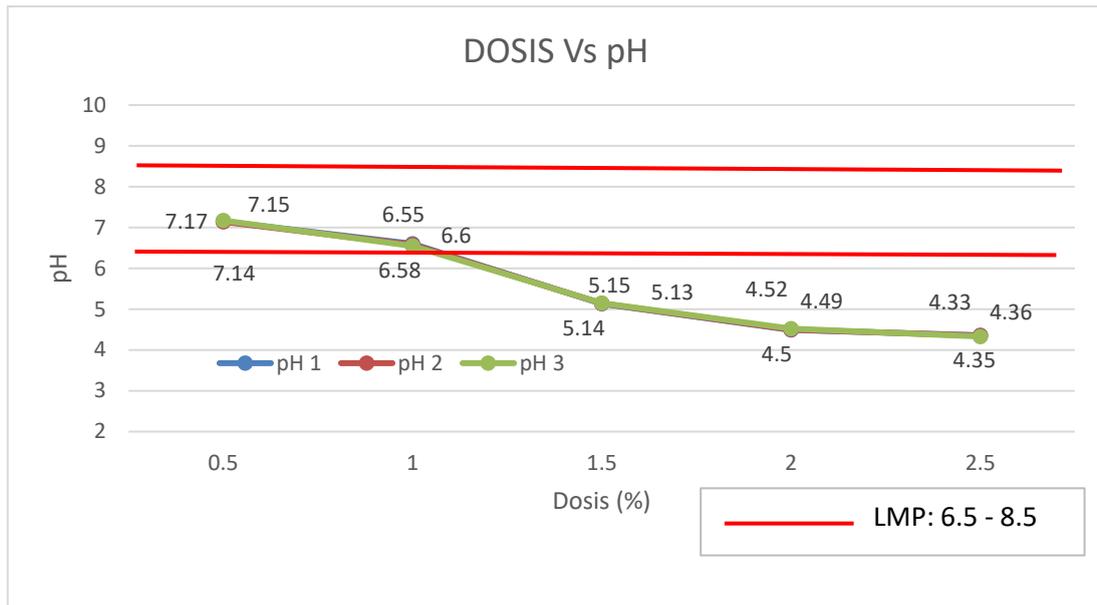
Tabla 4

Resultados del pH obtenido en las tres corridas experimentales con Sulfato de Aluminio.

Jarra	Dosis (%)	Parámetro Químico		
		pH 1	pH 2	pH 3
1	0,5	7,15	7,14	7,17
2	1,0	6,60	6,58	6,55
3	1,5	5,13	5,14	5,15
4	2,0	4,49	4,50	4,52
5	2,5	4,36	4,35	4,33

Figura 6

Comportamiento del pH con Sulfato de Aluminio con relación al Límite Máximo Permisible.



En la Figura 6, se aprecia que para las tres corridas experimentales que el pH se encuentra dentro de los LMP para las dosis de 0.5 y 1.0 %, sin embargo, excede los LMP para las dosis de 1.5, 2.0 y 2.5 %.

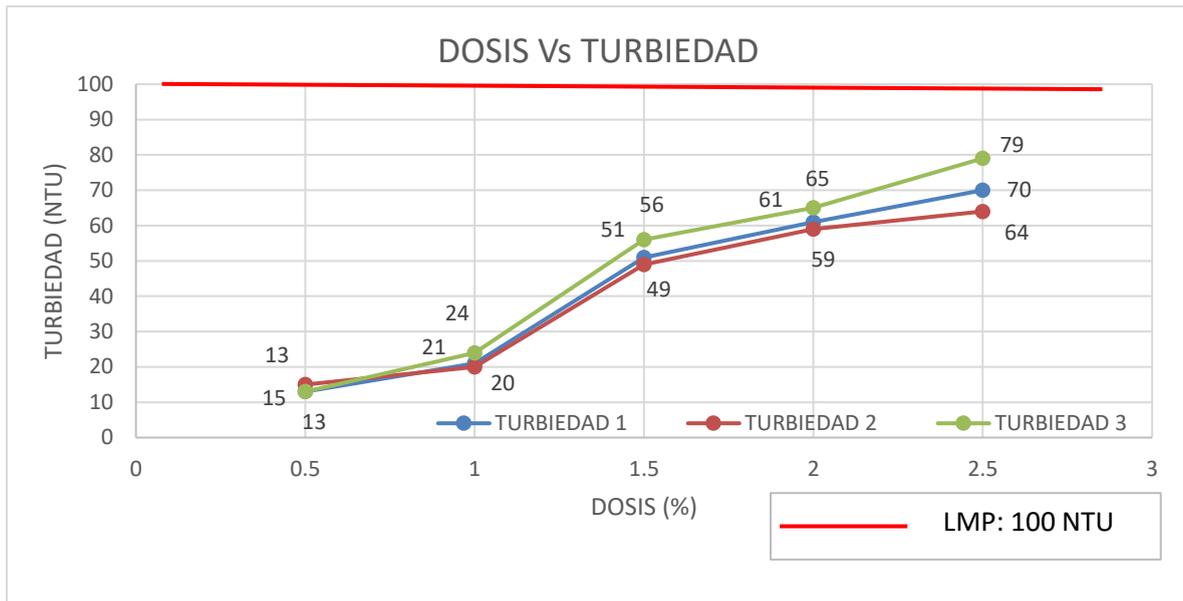
Tabla 5

Resultados de Turbiedad obtenidos en las tres corridas experimentales con Sulfato de Aluminio

Jarra	Dosis (%)	Parámetro Físico		
		Turbiedad (NTU) 1	Turbiedad (NTU) 2	Turbiedad (NTU) 3
1	0,5	13	15	13
2	1,0	21	20	24
3	1,5	51	49	56
4	2,0	61	59	65
5	2,5	70	64	79

Figura 7

Comportamiento de la Turbiedad con Sulfato de Aluminio en relación con el Límite Máximo Permisible.



En la Figura 7, se aprecia que para las tres corridas experimentales la Turbiedad varía entre 13 y 79 NTU, no excediendo para ninguna de las dosis del coagulante el Límite Máximo Permissible establecido en 100 NTU.

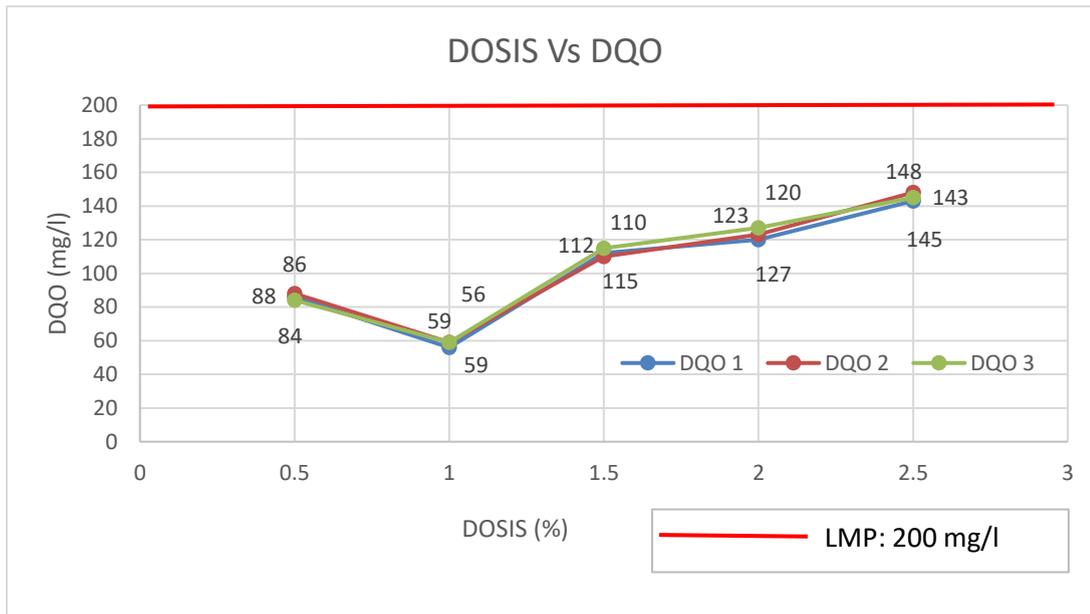
Tabla 6

Resultados de DQO obtenidos en las tres corridas experimentales con Sulfato de Aluminio

Jarra	Dosis (%)	Parámetro Físico		
		DQO (mg/l) 1	DQO (mg/l) 2	DQO (mg/l) 3
1	0,5	86	88	84
2	1,0	56	59	59
3	1,5	112	110	115
4	2,0	120	123	127
5	2,5	143	148	145

Figura 8

Comportamiento de la DQO con Sulfato de Aluminio en relación con el Límite Máximo Permissible.



En la Figura 8, se aprecia que para las tres corridas experimentales la DQO varía entre 56 y 148 mg/l, no excediendo para ninguna de las dosis del coagulante el Límite Máximo Permisible establecido en 200 mg/l.

Tabla 7

Eficiencias para Turbiedad con Sulfato de Aluminio

VARIABLES DE ESTUDIO	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Turbiedad (NTU)	225				
Volumen estándar añadido (ml)	50				
Dosis de $Al_2(SO_4)_3$ (%)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Promedio de concentraciones Finales de Turbiedad (NTU)	13.7	21.6	52.0	61.6	71.0
Eficiencia (%)	93.9	90.4	76.9	72.6	68.4

De la Tabla 7, se puede apreciar que la máxima remoción de la Turbiedad se alcanza con la dosis de 0.5% de Sulfato de Aluminio, llegando a obtenerse una eficiencia del 93.9%, asimismo se aprecia que al incrementarse las dosis al 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5% la eficiencia va disminuyendo hasta un valor final de 68.4%.

Tabla 8

Eficiencias para DQO con Sulfato de Aluminio

VARIABLES DE ESTUDIO	MUESTRAS				
Concentración Inicial de DQO (mg/l)	470				
Volumen estándar añadido (ml)	50				
Dosis de Al ₂ (SO ₄) ₃ (%)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Promedio de concentraciones Finales de DQO (mg/l)	86.0	58.0	112.3	123.3	145.3
Eficiencia (%)	81.7	87.7	76.1	73.7	69.1

De la Tabla 8, se puede apreciar que la máxima remoción de la DQO se alcanza con la dosis de 1.0% de Sulfato de Aluminio, llegando a obtenerse una eficiencia del 87.7%, asimismo se aprecia que al incrementarse las dosis al 1.5, 2.0 y 2.5% la eficiencia va disminuyendo hasta un valor final de 69.1%.

4.3. Eficiencia de la Cáscara de Naranja

La eficiencia de la Cáscara de Naranja se determinó considerando los parámetros fisicoquímicos de Turbiedad y Demanda Química de Oxígeno, sin embargo, también se evaluó la Temperatura y Potencial de Hidrógenos para conocer posibles variaciones frente al coagulante químico.

Cada parámetro evaluado tuvo una corrida inicial con dos replicas experimentales y un volumen estándar de coagulante añadido de 50 ml para todas dosis. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la Temperatura, Potencial de Hidrógenos, Turbiedad y Demanda Química de Oxígeno.

Tabla 9

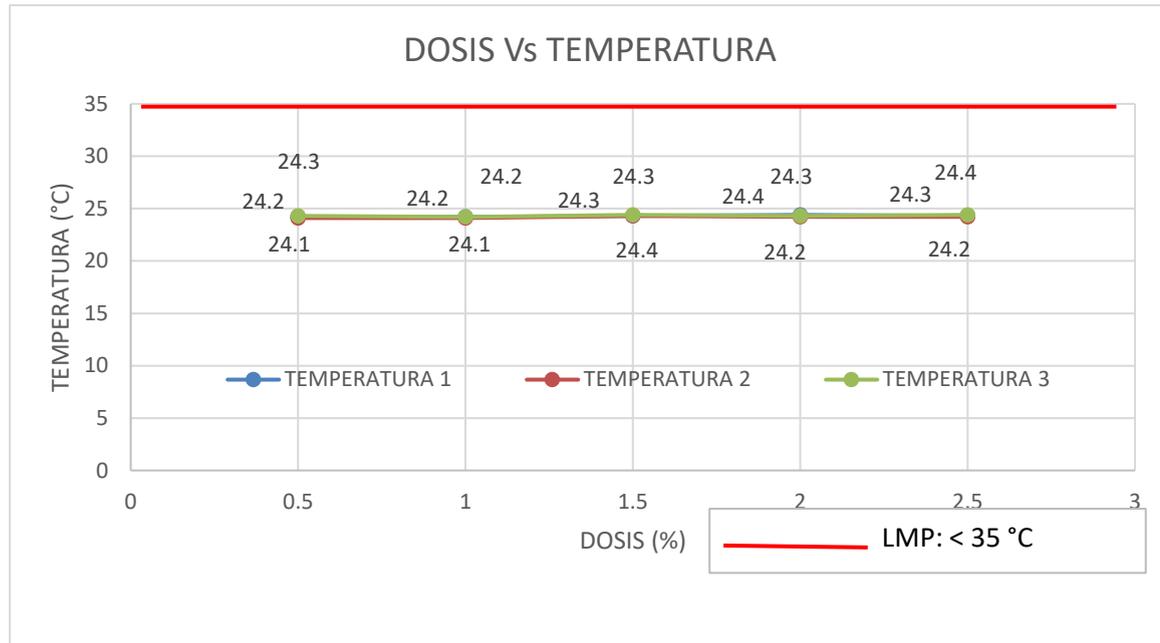
Resultados de la Temperatura obtenidos en las tres corridas experimentales con Cáscara de Naranja

Jarra	Dosis (%)	Parámetro Físico		
		Temperatura (°C) 1	Temperatura (°C) 2	Temperatura (°C) 3
1	0,5	24,2	24,1	24,3
2	1,0	24,2	24,1	24,2
3	1,5	24,3	24,3	24,4

4	2,0	24,4	24,2	24,3
5	2,5	24,3	24,2	24,4

Figura 9

Comportamiento de la Temperatura con Cáscara de Naranja en relación con el Límite Máximo Permissible.



En la Figura 9, se aprecia que para las tres corridas experimentales la temperatura varía entre 24.1 y 24.4 °C, no excediendo para ninguna de las dosis de coagulante el Límite Máximo Permissible establecido en menos de 35 °C.

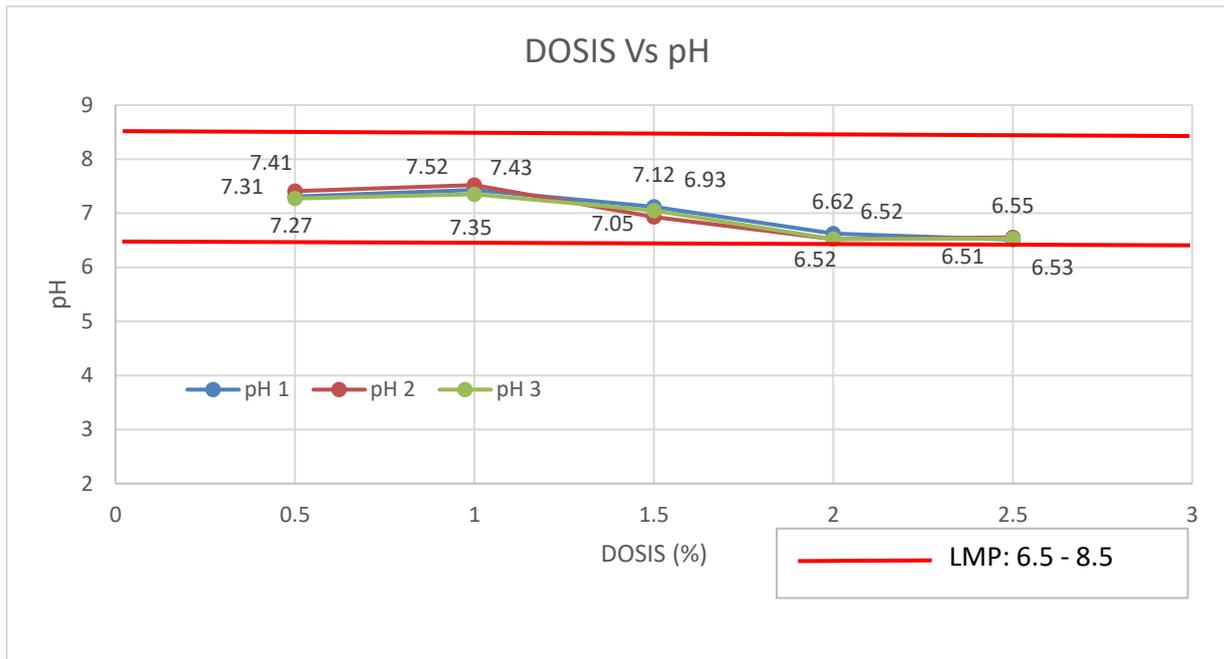
Tabla 10

Resultados del pH obtenido en las tres corridas experimentales con Cáscara de Naranja

Jarra	Dosis (%)	Parámetro Químico		
		pH 1	pH 2	pH 3
1	0,5	7,31	7,41	7,27
2	1,0	7,43	7,52	7,35
3	1,5	7,12	6,93	7,05
4	2,0	6,62	6,52	6,52
5	2,5	6,51	6,55	6,53

Figura 10

Comportamiento del pH con Cáscara de Naranja en relación con el Límite Máximo Permissible



En la Figura 10, se aprecia que en las tres corridas experimentales el pH se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles para todas las dosis de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 %.

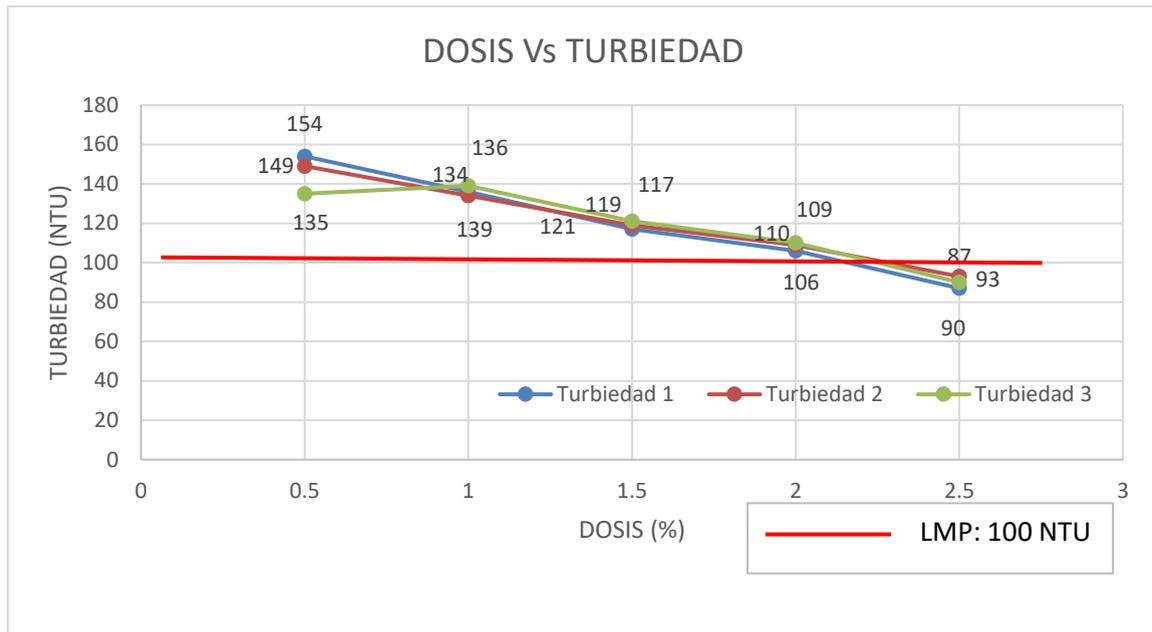
Tabla 11

Resultados de la Turbiedad obtenidos en las tres corridas experimentales con Cáscara de Naranja

Jarra	Dosis (%)	Parámetro Físico		
		Turbiedad (NTU) 1	Turbiedad (NTU) 2	Turbiedad (NTU) 3
1	0,5	154	149	135
2	1,0	136	134	139
3	1,5	117	119	121
4	2,0	106	109	110
5	2,5	87	93	90

Figura 11

Comportamiento de la Turbiedad con Cáscara de Naranja en relación con el Límite Máximo Permissible.



En la Figura 11, se aprecia para las tres corridas experimentales que la Turbiedad varía entre 87 y 154 NTU. Los LMP llegan a exceder para las dosis de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0%; sin embargo, para la dosis de 2.5% se llega a alcanzar los LMP.

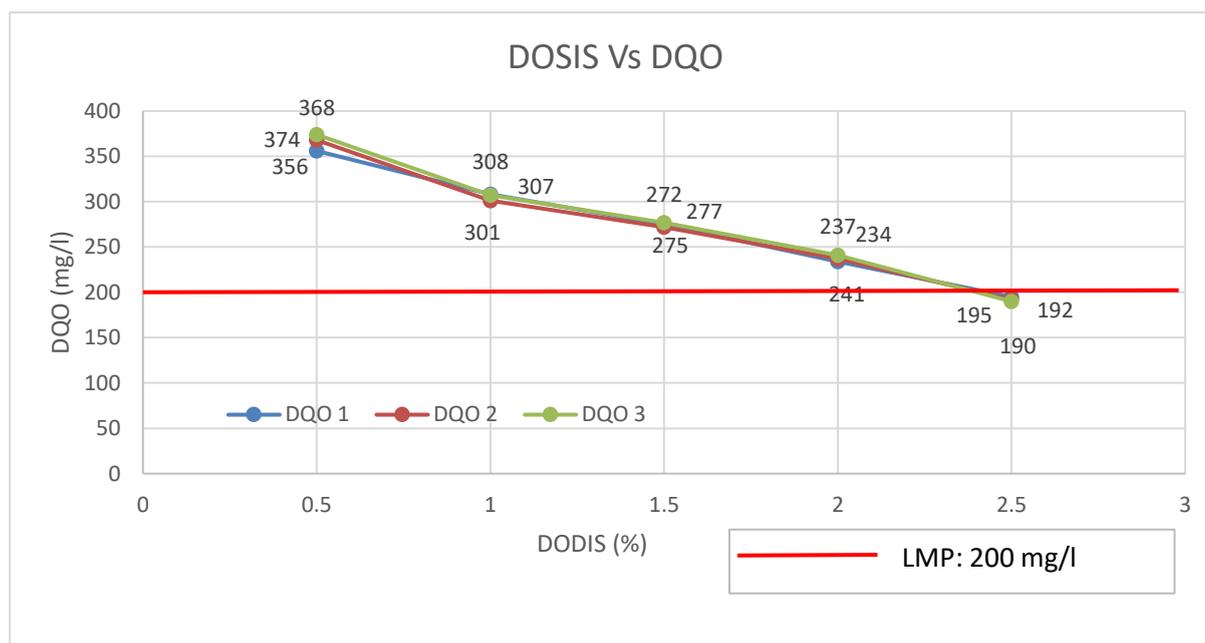
Tabla 12

Resultados de la DQO obtenidos en las tres corridas experimentales con Cáscara de Naranja

Jarra	Dosis (%)	Parámetro Físico		
		DQO (mg/l) 1	DQO (mg/l) 2	DQO (mg/l) 3
1	0,5	356	368	374
2	1,0	308	301	307
3	1,5	275	272	277
4	2,0	234	237	241
5	2,5	195	192	190

Figura 12

Comportamiento de la DQO con Cáscara de Naranja en relación con el Límite Máximo Permissible.



En la Figura 12, se aprecia que para las tres corridas experimentales la DQO varía entre 190 y 374 mg/l. El Límite Máximo Permissible llega a exceder para las dosis de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0%; sin embargo, para la dosis de 2.5%, si se llega a alcanzar el Límite Máximo Permissible.

Tabla 13

Eficiencias para la Turbiedad con Cáscara de Naranja

VARIABLES DE ESTUDIO	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Turbiedad (NTU)	225				
Volumen estándar añadido (ml)	50				
Dosis de Biosorbente (%)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Promedio de concentraciones Finales de Turbiedad (NTU)	146.0	136.3	119.0	108.3	90.0
Eficiencia (%)	35.1	39.4	47.1	51.9	60.4

De la Tabla 13, se puede apreciar que la máxima remoción de la Turbiedad se alcanza con la dosis de 2.5% de cáscara de naranja, llegando a obtenerse una eficiencia del 60.4%, asimismo se aprecia que al bajar las dosis al 2.0, 1.5, 1.0 y 0.5% la eficiencia va disminuyendo hasta un valor final de 35.1%.

Tabla 14

Eficiencias para la DQO con cáscara de Naranja

VARIABLES DE ESTUDIO		MUESTRAS				
Concentración Inicial de DQO (mg/l)		470				
Volumen estándar añadido (ml)		50				
Dosis de Biosorbente (%)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
Promedio de concentraciones Finales de DQO (mg/l)	366.0	305.3	274.6	237.3	192.3	
Eficiencia (%)	22.1	35.0	41.6	49.5	59.1	

De la Tabla 14, se puede apreciar que la máxima remoción de la DQO se alcanza con la dosis de 2.5% de cáscara de naranja, llegando a obtenerse una eficiencia del 59.1%, asimismo se aprecia que al ir bajando las dosis al 2.0, 1.5, 1.0 y 0.5% la eficiencia va disminuyendo hasta un valor final de 22.1%.

4.4. Análisis Estadístico

Para poder analizar y responder las hipótesis de investigación que se basan en la eficiencia de remoción de Turbidez y DQO aplicando T1: Uso de sulfato de aluminio anhidro y T2: Biosorbente a base de cáscara de naranja *Citrus sinensis*, así como las dosis: D1: 0.5% de dosis de sulfato de Aluminio, D2: 1% de dosis de sulfato de Aluminio, D3: 1.5% de dosis de sulfato de Aluminio, D4: 2% de dosis de sulfato de Aluminio, D5: 2.5% de dosis de sulfato de Aluminio, comprobando su eficiencia en ambos parámetros, para lo cual se agrupo la siguiente información:

Tabla 15:

Agrupación de Datos para el análisis estadístico

INICIAL		TURBIDEZ	225	NTU
INICIAL		DQO	470	mg/L
		% de eficiencia de remoción		
TURBIDEZ	T1	D1	13.7	93.911
	T1	D2	21.6	90.400
	T1	D3	52	76.889
	T1	D4	61.6	72.622

	T1	D5	71	68.444
	T2	D1	146	35.111
	T2	D2	136.3	39.422
	T2	D3	119	47.111
	T2	D4	108.3	51.867
	T2	D5	90	60.000
	T1	D1	86	81.702
	T1	D2	58	87.660
	T1	D3	112.3	76.106
	T1	D4	123.3	73.766
DQO	T1	D5	145.3	69.085
	T2	D1	366	22.128
	T2	D2	305.3	35.043
	T2	D3	274.6	41.574
	T2	D4	237.3	49.511
	T2	D5	192.3	59.085

4.4.1. Análisis Inferencial

Para analizar y comprobar la verosimilitud de las hipótesis se realizará la prueba T de Student de variables relacionadas, para se procederá al análisis de comparación de eficiencias de remoción de los T1(tratamiento 1: Uso de sulfato de aluminio anhidro) y T2 (tratamiento 2: Biosorbente a base de cáscara de naranja Citrus sinensis) aplicados en 5 dosis para remover los parámetros de Turbidez y DQO en las aguas residuales domesticas obtenidas de la PTAR Taboada, para ello se realizó:

✓ Análisis de la eficiencia de remoción para la turbidez aplicando los tratamientos indicados.

✓ Análisis de la eficiencia de remoción para la DQO aplicando los tratamientos indicados.

4.4.1.2. Prueba de Normalidad

Se aplicará la prueba de normalidad Shapiro-Wilks debido a las muestras analizadas que son menores a 30, para lo cual se establece los siguientes supuestos:

H0: Los presentan una distribución normal

H1: Los datos no presentan una distribución normal

Se realizó el análisis respectivo de lo cual se tiene:

Tabla 16

Prueba de Normalidad T1 vs T2 para la eficiencia de remoción de DQO

	Prueba de normalidad				
	Estadístico	Sig.	Shapiro-Wilk Estadístico	gl	Sig.
Tratamiento con sulfato de Al para remoción de DQO	0.186	0.200*	0.980	5	0.937
Tratamiento con cáscara de naranja para remover DQO	0.124	0.200*	0.996	5	0.996

Nota. *. Esto es un límite inferior de la significación verdadera, tomado de SPSS versión 26

De lo obtenido en la sig. obtenida de las variables a analizadas se puede observar que las sig. > 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna por lo tanto los datos provienen de una distribución normal respecto a la eficiencia de remoción de la DQO.

✓ Prueba T de Student de variables relacionadas para relacionar la eficiencia de remoción de turbidez

Se realiza esta prueba para verificar si es significativa la aplicación del tratamiento 1 y tratamiento 2 en base a la remoción de turbiedad se tiene:

Tabla 17

Prueba Hipótesis T de Student de Variables relacionadas respecto a la remoción de la DQO

	Media	Desviación	Error Desviación	Inferior	Superior	T	gl	Sig. (bilateral)
Tratamiento con sulfato de Al para remoción de la DQO - Tratamiento con cáscara de naranja para remover la DQO	36.19960	20.29233	9.07501	11.00334	61.39586	3.989	4	0.016

Nota. Elaborado de SPSS versión 26

Se plantean los supuestos:

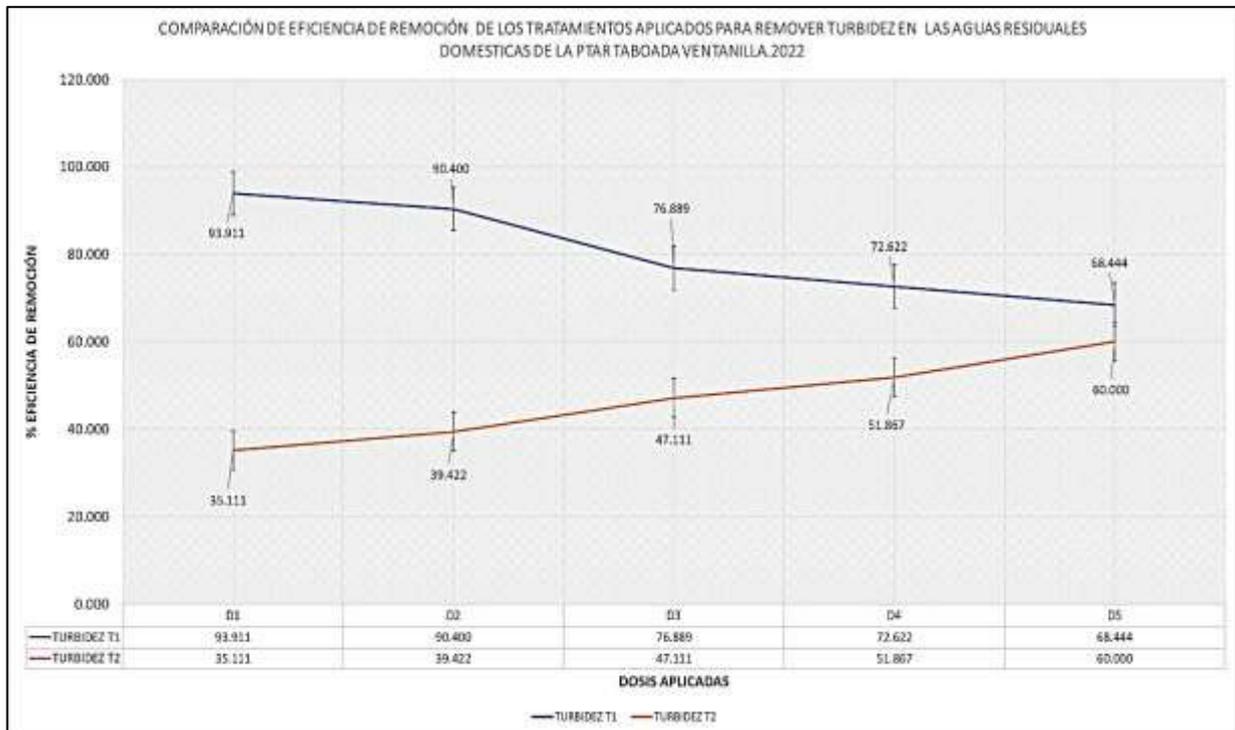
H0: No existe diferencias significativas entre Tratamiento con sulfato de Al para remoción de turbidez y Tratamiento con cáscara de naranja para remover la DQO

H1: Existe diferencias significativas entre Tratamiento con sulfato de Al para remoción de turbidez y Tratamiento con cáscara de naranja para remover la DQO

De lo cual el valor de la sig. > 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y acepta la hipótesis alterna, por lo cual la diferencia de eficiencia de remoción entre el Tratamiento con sulfato de Al para remoción de la DQO y el Tratamiento con cáscara de naranja para remover DQO es significativa debido a lo cual la media del Tratamiento con sulfato de Al para remoción de turbidez es mayor que el Tratamiento con cáscara de naranja para remover DQO, lo que establece estadísticamente que el Tratamiento con sulfato de Al es más eficiente en remover turbidez en aguas residuales de la PTAR Taboada. Para poder evidenciar lo planteado se tiene las siguientes graficas:

Figura 13

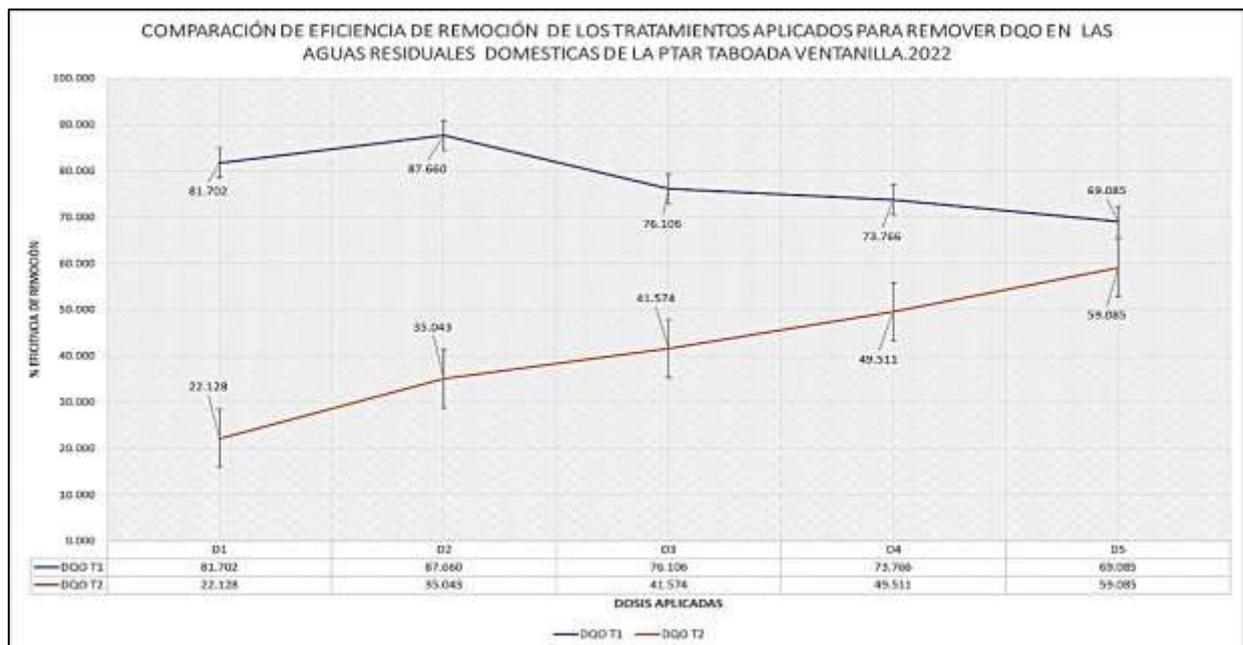
Verificación de la eficiencia de Remoción del Tratamiento 1 vs Tratamiento 2 para remover Turbiedad



Nota. Se tiene que el tratamiento 1 en sus diferentes dosis es más eficiente en remover turbidez frente al tratamiento 2 verificando mayor eficiencia de remoción con la dosis 1 que es de 0.5% de Sulfato de aluminio presentando un 93.911% de eficiencia de remoción y encontrando en el tratamiento 2 en la dosis 5 que es 2.5g de biosorbente elaborado a partir de la cáscara de naranja una eficiencia de remoción de 60%, presentando una diferencia significativa comprobada por la prueba hipótesis T de Student de variables relacionadas.

Figura 14

Verificación de la eficiencia de Remoción del Tratamiento 1 vs Tratamiento 2 para remover DQO



Nota. Se tiene que el tratamiento 1 en sus diferentes dosis es más eficiente en remover DQO frente al tratamiento 2 verificando mayor eficiencia de remoción con la dosis 2 que es de 1% de Sulfato de aluminio presentando un 87.660% de eficiencia de remoción y encontrando en el tratamiento 2 en la dosis 5 que es 2.5g de biosorbente elaborado a partir de la cáscara de naranja una eficiencia de remoción de 59.085%, presentando una diferencia significativa comprobada por la prueba hipótesis T de Student de variables relacionadas.

4.4.2 Contrastación de la Hipótesis de Investigación

En la tabla 18, se muestra la contrastación de la hipótesis general y específicas planteadas al inicio de la investigación con su respectiva argumentación.

Tabla 18

Contrastación de Hipótesis

HIPOTESIS GENERAL	ARGUMENTACION	CONTRASTACION
La eficiencia de la cáscara de naranja <i>Citrus sinensis</i> frente al sulfato de aluminio permitirá conocer el grado de remoción de la materia orgánica en las aguas residuales domésticas de la PTAR Taboada, Callao.	Según la argumentación y la comparación y la verificación de la significancia en la base a la prueba T de Student se demuestra la significancia de ambos tratamientos para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales domésticas de la PTAR Taboada, Callao.	Verdadera
HIPOTESIS ESPECIFICAS		
Los niveles de los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles para las aguas residuales domésticas de la PTAR Taboada en el Callao.	Se demuestra que los parámetros determinados aun cuando se remueven considerablemente están por encima de los LMP establecidos por la entidad estatal pertinente.	Verdadera
La cáscara de naranja <i>Citrus sinensis</i> presenta una mediana eficiencia en la remoción de la materia orgánica medida como DQO de las aguas residuales domésticas de la PTAR Taboada en el Callao.	Se comprueba en los análisis realizados y expuestos en el trabajo que la cáscara de naranja remueve medianamente la materia orgánica teniendo como eficiencia de remoción de DQO porcentajes menores a 60% siendo una eficiencia media	Verdadera
El sulfato de aluminio presenta una alta eficiencia en la remoción de la materia orgánica medida como DQO de las aguas residuales domésticas de la PTAR Taboada en el Callao.	Se comprueba en los análisis realizados y expuestos en el trabajo que el sulfato de aluminio remueve de manera elevada la materia orgánica teniendo como eficiencia de remoción de DQO porcentajes menores a 80% siendo una eficiencia alta	Verdadera

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Buenaño et al. (2019) en su artículo *“Study of coagulating/flocculating characteristics of organic polymers extracted from biowaste for water treatment”*, utilizaron tres polímeros naturales: almidón de cáscara de plátano verde, pectina de cáscara de naranja y extracto de semilla de tamarindo en tres soluciones (agua, cloruro de sodio y acetato de amonio). Los ensayos mostraron actividad floculante en combinación con sulfato de aluminio, obteniendo como resultado que las combinaciones óptimas de sulfato de aluminio + polímero natural fueron: 50 (mg/l) +0,2 (mg/l) para almidón, 60(mg/l) +0,06 (mg/l) para pectina, 60 (mg/l) +0,6 (mg/l) para extracto de tamarindo en agua, 60 (mg/l) +0,5 (mg/l) para extracto de tamarindo en cloruro de sodio y 60 (mg/l) +0,2 (mg/l) para extracto de tamarindo en acetato de amonio. Los niveles de eliminación de la turbidez y color fueron aproximadamente 87 % y 92 %, respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos en nuestro trabajo de investigación al trabajar con dosis al 0.5% de Sulfato de Aluminio, obtuvimos una remoción de la turbidez del 93.9 %; y al trabajar con el coagulante natural a partir de la cáscara de naranja con una dosis al 2.5%, obtuvimos una remoción de la turbidez del 60.4 %, lo cual demuestra la cercanía entre los resultados para ambos trabajos de investigación, sin embargo, es preciso recalcar que las pruebas desarrolladas en nuestra investigación fueron trabajadas por cada coagulante en forma individual a diferencia de la investigación de (Buenaño et al., 2019), la cual fue realizada con los coagulantes combinados.

Domínguez et al. (2007) en su artículo científico *Aluminium sulfate as coagulant for highly polluted cork processing wastewaters: Removal of Organic Matter*”, proponen la remoción de materia orgánica, medida por las reducciones en la demanda química de oxígeno (DQO), polifenoles (TP), y compuestos aromáticos (A) que se pueden obtener mediante este proceso, empleando la química del aluminio como coagulante en el tratamiento de aguas residuales altamente contaminadas del procesamiento del corcho. Los rangos de parámetros probados para el proceso de coagulación fueron: dosis de coagulante (33–166 mg/l de Al^{+3}),

contaminación de las aguas residuales (DQO entre 1060 y 3050 mg O₂/l), tiempo de mezcla (5–0 min), velocidad de agitación (60–300 rpm) y pH (4–11). Las capacidades de remoción resultantes estuvieron en los rangos de 20 a 55 % para DQO, 28 a 89 % para polifenoles y 29 a 90 % para compuestos aromáticos. Los mejores resultados se obtuvieron con un tiempo de mezclado del coagulante de 5 min y una velocidad de agitación de 300 rpm. Los resultados obtenidos en nuestro trabajo de investigación para la remoción de materia orgánica medida como DQO utilizando Sulfato de Aluminio al 1.0 %, mostraron una eficiencia del 87.7%, con un valor inicial de 470 mg/l y uno final de 58 mg/l. La mayor eficiencia obtenida se presentó cuando se trabajó con 250 RPM, un tiempo estándar de 30 minutos, un pH de 6.55 a 6.60, una temperatura de 24.1 a 24.2 y una sedimentación de 30 minutos finales.

Flores (2020) en su estudio “*Pectina de cáscara de cacao y sulfato de aluminio para reducción de la turbidez en aguas contaminadas del río Chillón*”, plantearon determinar la eficiencia de la pectina de cáscara de cacao como floculante y determinar la mejor concentración de sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃) y pH de la solución para la reducir la turbidez en el tratamiento de aguas residuales. Los resultados obtenidos con el floculante natural (pectina de cáscara de cacao) y sintético (Al₂(SO₄)₃) poseen una eficiencia de reducción de la turbidez mayor al 90%, siendo sus porcentajes de 99,40 % y 99,96 %, respectivamente. Concluyendo que la pectina de cáscara de cacao presenta mayor remoción en el pH 3, mientras que el sulfato de aluminio en el pH 5; es así como la utilización de la pectina de cáscara de cacao como floculante natural para reducir la turbidez en aguas residuales es eficiente y se puede emplear como alternativa luego de los floculantes convencionales. A diferencia de nuestra investigación se trabajó con cáscara de naranja, la cual contiene también pectina como coagulante natural y como coagulante sintético se utilizó Sulfato de Aluminio, obteniéndose los siguientes resultados relacionados a la Turbidez: con dosis al 0.5% de Sulfato de Aluminio, obtuvimos una remoción de la turbidez del 93.9 % a una temperatura de 23.9 a 24.1 y un pH entre 7.14 y 7.17; y

al trabajar con el coagulante natural a partir de la cáscara de naranja con una dosis al 2.5%, obtuvimos una remoción de la turbidez del 60.4 % a una temperatura de 24.2 a 24.4 y un pH de 6.51 a 6.55, lo cual demuestra la cercanía entre el resultado obtenido con el Sulfato de Aluminio para ambos trabajos de investigación, sin embargo, los resultados de la investigación con la cáscara de naranja no muestran las mismas eficiencias, asociado posiblemente a la diferencia entre las variables de operación como el pH y la temperatura.

Aguilar (2019) en su estudio “Eficiencia de la cáscara de naranja pulverizada con la piedra Alumbre en el tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito de Puente Piedra - 2019”, evaluó la cáscara de naranja pulverizada y la piedra alumbre para mejorar la calidad de las aguas residuales domesticas del distrito de Puente Piedra. El coagulante natural utilizado fue la cascará de naranja en polvo en dosis de 30 g, 60 g y 90 g y la piedra alumbre en polvo como catalizador con dosis de 5 g por muestra. Los resultados mostraron que la dosis optima de la cáscarade naranja pulverizada (60 g), presentó parámetros: 6,01 pH; de igual forma 2293,6 de CE; 64,72 de NTU; 72,53 mg/L de ST; 47,66 mg/L de SST; 23,9 mg/L de SDT. En nuestro estudio para la remoción de la Turbiedad utilizando la cáscara de naranja se trabajó con concentraciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5% (5, 10, 15, 20 y 25 g/l), donde la mayor eficiencia se obtuvo con una concentración de 25 g/l reduciéndolo desde 225 hasta 90 NTU aproximadamente, alcanzando una remoción de la turbidez del 60.4 % a una temperatura de 24.2 a 24.4 y un pH de 6.51 a 6.55. Ambos estudios difieren en las eficiencias encontradas, posiblemente debido a las concentraciones de trabajo que fueron diferentes para cada ensayo.

Janampa & Quiroz (2021) en su estudio “*Remoción de Carga Orgánica de Aguas Residuales Domésticas por el método de Coagulación con Sulfato de Aluminio enel lugar Agua de Vichi – Santa Ana - Huancavelica*”, plantearon determinar la remoción de carga orgánica de aguas residuales domésticas por el método de coagulación con sulfato de aluminio, se aplicó el ensayo de prueba de jarras con el fin de encontrar la dosis óptima del coagulante y obtener

el porcentaje máximo de remoción de carga contaminante, para los cual se analizaron los parámetros DBO, DQO, Turbiedad, pH y Temperatura. Luego de realizar el ensayo de prueba de jarras se obtuvo que las dosis óptimas del coagulante fueron de 100 y 120 mg/l con los cuales se obtiene los máximos porcentajes de remoción de carga contaminante, con una eficiencia de remoción para la Turbiedad del 71.16 %, para la DBO₅ de 73.79% y para la DQO de 66.26%; a una temperatura promedio de 14 C° y un pH de 7.5. Los resultados obtenidos con relación a nuestro trabajo de investigación para la remoción de materia orgánica medida como DQO utilizando Sulfato de Aluminio al 1.0 %, mostraron una eficiencia del 87.7%, con un valor inicial de 470 mg/l y uno final de 58 mg/l. La mayor eficiencia obtenida se presentó cuando se trabajó con 250 RPM, un tiempo estándar de 30 minutos, un pH de 6.55 a 6.60, una temperatura de 24.1 a 24.2 y una sedimentación de 30 minutos finales.

VI. CONCLUSIONES

✓ De acuerdo con el primer objetivo planteado se concluye que de acuerdo con la caracterización del agua residual domestica para los parámetros de Temperatura (24.5 °C) y pH (7.38) no exceden los Límites Máximos Permisibles, sin embargo, los parámetros de Turbiedad (225 NTU) y DQO (470 mg/l) exceden los Límites Máximos Permisibles establecidos en 100 NTU y 200 mg/l respectivamente.

✓ En relación con el segundo objetivo planteado se concluye que el tratamiento del agua residual domestica con Sulfato de Aluminio alcanza su mayor eficiencia de remoción de Turbiedad (93.9%) con la dosis de 0.5%, y para el parámetro de DQO la máxima eficiencia (87.7%) se alcanza con la dosis de 1.0%, llegándose a cumplir para ambos parámetros con los Límites Máximos Permisibles.

✓ De acuerdo con el tercer objetivo planteado se concluye que el tratamiento del agua residual domestica con cáscara de naranja alcanza su mayor eficiencia de remoción de Turbiedad (60.4%) con la dosis de 2.5%; y para el parámetro de DQO la máxima eficiencia (59.1%) se alcanza con la dosis de 2.5%, llegándose a cumplir para ambos parámetros con los Límites Máximos Permisibles.

✓ Se concluye finalmente que en el tratamiento de aguas residuales domesticas con Sulfato de Aluminio la remoción de materia orgánica expresada como DQO obtuvo una eficiencia del 87.7%, superando al floculante natural cáscara de naranja quien presentó una eficiencia del 59.1%.

VII. RECOMENDACIONES

✓ A fin de mejorar las dosis óptimas y obtener mejores eficiencias para remover concentraciones elevadas de materia orgánica, se recomienda realizar ensayos con mayor concentración o dosis, diferentes a las desarrolladas en la presente investigación.

✓ Se recomienda utilizar la metodología de la presente investigación para el tratamiento de efluentes domésticos que contengan concentraciones promedio de materia orgánica de 470 mg/l expresada como DQO.

✓ Se recomienda para futuros estudios modificar las variables de operación como la Temperatura, Tiempo, Revoluciones, Volumen y pH a fin de conocer posibles variaciones en el comportamiento y remoción de la materia orgánica.

✓ Se recomienda utilizar la presente técnica de remoción de materia orgánica para otros parámetros o indicadores en el tratamiento de aguas residuales, diferentes a las del presente estudio, a fin de verificar su eficiencia.

✓ Se recomienda al sector competente elaborar un límite máximo permisible para el caso de la Turbiedad, ya que es un parámetro muy importante en la evaluación de la calidad de las aguas residuales domésticas.

VIII. REFERENCIAS

- Aguilar, J. A. (2019). “*Eficiencia de la cáscara de naranja pulverizada con la piedra Alumbre en el tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito de Puente Piedra - 2019*”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/41146>
- Albán, D. y Barzallo, L. (2021). “*Evaluación de la eficiencia de un coagulante con propiedades biosorbentes a base de mashua y naranja para tratamiento de aguas superficiales*”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico. Universidad de Guayaquil]. Repositorio de la Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/57964/1/BINGQ-IQ-21P57.pdf>
- Bravo, M. (2017). “*Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*”. [Tesis para optar el Título de Licenciada Química. Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5609/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Buenaño, B., Vera, E. y Aldás, M. (2019). Study of coagulating/flocculating characteristics of organic polymers extracted from biowaste for water treatment. *Ingeniería e Investigación*. 39(1), 1-13. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/ing.investig.v39n1.69703>
- Cabrera, I. (2019). “*Formulación de una mezcla constituida por Semillas de Moringa (Moringa Oleífera) y Sulfato de Aluminio, para ser usada en el proceso de Coagulación-Floculación en el tratamiento de Agua Residual*”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/3941/BC-TES-TMP-2743.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Córdova, E. (2019). “*Aplicación de sulfato de aluminio y tuna (Opuntia ficus-indica) para la remoción de materia orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal municipal Tumán 2018*”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental y Sanitaria. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca]. Repositorio Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. <https://repositorio.uniautonomadeuca.edu.co/bitstream/handle/123456789/609/T%20I-A-M%20111%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Domínguez, J., González, T., García, H., Sánchez, F. y Beltrán de Heredia, J. (2007). Aluminium sulfate as coagulant for highly polluted cork processing wastewaters: Removal of Organic Matter. *Removal of organic matter*. 148(1-2), 15–21. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.05.003

- Flores, L. S. (2020). “Pectina de cáscara de cacao y sulfato de aluminio para reducción de laturbidez en aguas contaminadas del río Chillón”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/72664/B_Flores_Z_LS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gaspar, F. (2021). “Reducción de la Turbidez de las Aguas del Rio Shullcas, Utilizando Penca de Tuna y Sulfato de Aluminio en el Proceso de Coagulación para el Tratamiento de AguaPotable”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/71799/Gaspar_CF-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Janampa, Y. y Quiroz, M. (2021). “Remoción de carga orgánica de Aguas Residuales Domésticas por el Método de Coagulación con sulfato de aluminio en el lugar agua de Vichi – Santa Ana – Huancavelica” [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio de la Universidad Nacional de Huancavelica. <http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/3946/TESIS-2021-ING.%20AMBIENTAL-JANAMPA%20CHOQUE%20Y%20QUIROZ%20QUISPE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Klančnik, M. (2014). Coagulation and Adsorption Treatment of Printing Ink Wastewater. *Acta Graphica*, 25(3–4), 73-82. <https://hrcak.srce.hr/138204>
- López, W. (2019). “Evaluación de dos especies de microalgas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes de aguas residuales de la PTAR Taboada del Callao, Perú”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio de la Universidad Nacional Federico Villarreal. <http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/2705/LOPEZ%20PONTE%20WILDER%20MICHEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Liu, Y., Duan, J., Li, W., Beecham, S. y Mulcahy, D. (2016). Effects of Organic Matter Removal from a Wastewater Secondary Effluent by Aluminum Sulfate Coagulation on Haloacetic Acids Formation. *Environmental Engineering Science*, 33(7), 484 – 493. doi:10.1089/ees.2015.0446
- Macedo, A. (2018). “Evaluación de la capacidad de remoción de nitratos y fosfatos de la microalga, *Desmodesmus asymmetricus*, en aguas residuales de PTAR TABOADA Callao”. [Tesis para optar el Título de Licenciada en Biología. Universidad Ricardo Palma]. Repositorio de la Universidad Ricardo Palma. http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/1675/Macedo_a.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Matilainen, A.; Lindqvist, N.; Tuhkanen, T. (2005). Comparison of the Efficiency of Aluminium and Ferric Sulphate in the Removal of Natural Organic Matter During Drinking Water Treatment Process. *Environmental Technology*, 26(8), 867–

876. doi:10.1080/09593332608618502

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

Ortigosó, F. (2019). “*Bioadsorción con Cáscara de Naranja (citrus sinensis) en aguas contaminadas por Anilina de la Empresa Mantaro s.a.– Huachipa 2018*”. [Tesis para optar el Título de Ingeniera Ambiental. Universidad Alas Peruanas. Repositorio de la Universidad Alas Peruanas. https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/6593/Tesis_Bioadsorcion_Cáscara_Naranja.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Oré, A. (2017). “*Influencia del sulfato de Aluminio y pH en la remoción de la materia orgánica para el tratamiento del agua residual del Camal Municipal de Chupaca*”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional Centro del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3770/Ore%20Asparin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Párraga, L. (2018). “*Eficacia de la bioadsorción mediante la mezcla de la cáscara de Lima y Naranja a diferentes concentraciones de las aguas del río Rímac – Lima 2018*” [Tesis para optar el Título de Ingeniera Ambiental. Universidad César Vallejo. Repositorio de la Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/19287/Parraga_OL_S.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Villanueva, L. y Yence, J. (2017). “*Mejoramiento de la eficiencia de remoción de materia orgánica y coliformes termotolerantes en la PTAR del distrito de Huáchac-Chupaca*”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico Ambiental. Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional Centro del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3781/Villanueva%20Aliga%20-Yance%20Soto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

9.1. Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua-República de Ecuador.

REVISIÓN DEL ANEXO I DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFUEENTES AL RECURSO AGUA

TABLA 1: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS QUE PARA CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO QUE REQUIEREN TRATAMIENTO CONVENCIONAL

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y Grasas	Película visible		Ausencia
Aluminio total	Al	mg/l	0,2
Amoníaco	N	mg/l	0,5
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Coliformes Totales	NMP	NMP/100 ml	20000
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Cianuro	CN	mg/l	0,2
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Color	Color real	Unidades de Platino-Cobalto	75,0
Compuesto Fenólicos	Fenol	mg/l	0,001
Cromo	Cr ⁶⁺	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	<2mg/l
Hierro total	Fe	mg/l	1,0
Difeniles Policlorinados	Concentración de agente activo		No detectable
Materia Flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,002
Nitratos	N	mg/l	10,0
Nitritos	N	mg/l	1,0
Olor y sabor			Es permitido remanente por tratamiento convencional
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	>40% del OD Sat.
pH	pH		6-9
Plata	Ag	mg/l	0,05
Piomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	250,0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	100,0

9.2. Límite Máximo Permissible: D.S N° 003-2010-MINAM.

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

9.3 Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<p>Problema general ¿Cómo será la eficiencia de la cáscara de naranja Citrus sinensis frente al sulfato de aluminio para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao, 2022?</p> <p>Problemas Específicos 1.¿Cuáles serán las características fisicoquímicas de las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao? 2.¿Cuál será la eficiencia del sulfato de aluminio en la remoción de la materia orgánica medida como DQO de las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao? 3.¿Cuál será la eficiencia de la cáscara de naranja Citrus sinensis en la remoción de la materia orgánica medida como DQO de las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao?</p>	<p>Objetivo general Evaluar la eficiencia de la cáscara de naranja Citrus sinensis frente al sulfato de aluminio para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao, 2022.</p> <p>Objetivos Específicos 1. Caracterizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao. 2. Determinar la eficiencia del sulfato de aluminio para la remoción de la materia orgánica la DQO medida como DQO de las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao. 3. Determinar la eficiencia de la cáscara de naranja Citrus sinensis para la remoción de la materia orgánica medida como DQO de las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao.</p>	<p>Hipótesis general La eficiencia de la cáscara de naranja Citrus sinensis frente al sulfato de aluminio permitirá conocer el grado de remoción de la materia orgánica en las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada, Callao, 2022.</p> <p>Hipótesis Específicos 1.Los niveles de los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles para las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao. 2.El sulfato de aluminio presenta una alta eficiencia en la remoción de la materia orgánica medida como DQO de las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao. 3.La cáscara de naranja Citrus sinensis presenta una mediana eficiencia en la remoción de la materia orgánica medida como DQO de las aguas residuales domesticas de la PTAR Taboada en el Callao.</p>	<p>Variable Independiente</p>	<p>La cáscara de naranja es la capa protectora del fruto en la cual se encuentra la mayor parte de los nutrientes de la cual se benefician las frutas durante su crecimiento color, acidez, dulzor, etc. (Aguilar, 2019). El sulfato de aluminio es una sal sólida de color blanco, que puede encontrarse: molido fino, molido grueso y superfino, y que se usa para el tratamiento del agua potable y residual, utilizado como agente coagulante y floculante primario, el cuál agrupa los sólidos suspendidos en el agua y acelerar la sedimentación para su separación, (Cabrera, 2019)</p>	<p>La eficiencia de la cáscara de naranja frente al sulfato de aluminio para lograr una eficiente remoción de M.O Se basa en la dosis del coagulante, concentración, volumen, tiempo de agitación, etc. y se escogerá como dosis optima aquella que remueva la mayor cantidad.</p>	<p>VARIABLES DEL FLOCULADOR</p>	Volumen	L
							Tiempo	Minutos
							Revoluciones	rpm
			<p>Cáscara de Naranja</p>	Dosis	ml			
				Concentración	%			
			<p>Sulfato de Aluminio</p>	Dosis	ml			
				Concentración	%			
			<p>Parámetros Fisicoquímicos</p>	Temperatura	°C			
				Conductividad Eléctrica	uS/cm			
				Potencial de Hidrógeno	Unidad de Ph			
			<p>Parámetros Químicos</p>	DQO	mg/l			
				Eficiencia	%			
<p>Variable Dependiente</p>	<p>La Remoción de la M.O se logra con procesos fisicoquímicos utilizados para eliminar las partículas coloidales de las aguas residuales. Este proceso se lleva a cabo al añadir agentes coagulantes y floculantes, en procesos de floculación y coagulación, donde se logra la purificación de aguas, remoción de impurezas coloidales y disueltas, produciendo flóculos. (Bravo, 2017).</p>	<p>Remoción de la Materia Orgánica</p>						