



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

OPTIMIZACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO COMBINADO CON  
BIOABSORBENTE DE MARACUYÁ PARA LA REDUCCIÓN DE DQO Y  
TURBIEDAD EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PTAR MARIA  
REICHE DEL DISTRITO DE MIRAFLORES, LIMA, 2024

**Línea de investigación:**  
**Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor**

Mucha Bautista, Raúl Fernando

**Asesor**

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

ORCID: 0000-0002-2873-6752

**Jurado**

Vera Chamochumbi, Benjamín Fernando

Rojas León, Gladys

Legua Terry, Alberto Israel

**Lima - Perú**

**2026**



# OPTIMIZACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO COMBINADO CON BIOABSORBENTE DE MARACUYÁ PARA LA REDUCCIÓN DE DQO Y TURBIEDAD EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PTAR MARIA REICHE DEL DISTRITO DE MIRAFLORES, LIMA

## INFORME DE ORIGINALIDAD

28%

INDICE DE SIMILITUD

25%

FUENTES DE INTERNET

13%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	5%
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="https://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	1%
4	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	1%
5	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	1%
6	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	1%
7	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://repositorio.unjbg.edu.pe">repositorio.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
10	<a href="https://repositorio.upsc.edu.pe">repositorio.upsc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**  
OPTIMIZACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO COMBINADO CON  
BIOABSORBENTE DE MARACUYÁ PARA LA REDUCCIÓN DE DQO Y TURBIEDAD  
EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PTAR MARIA REICHE DEL  
DISTRITO DE MIRAFLORES, LIMA, 2024

**Línea de investigación:**

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

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor**

Mucha Bautista, Raúl Fernando

**Asesor**

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

ORCID: 0000-0002-2873-6752

**Jurado**

Vera Chamocho, Benjamín Fernando

Rojas León, Gladys

Legua Terry, Alberto Israel

**Lima – Perú**

**2026**

## ÍNDICE

Resumen.....	9
Abstract.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Descripción y formulación del problema.....	13
1.1.1. Descripción del problema.....	13
1.1.2. Formulación del problema.....	15
1.2. Antecedentes.....	15
1.2.1. Antecedentes internacionales.....	15
1.2.2. Antecedentes nacionales.....	17
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. Objetivo general.....	19
1.3.2. Objetivos específicos.....	19
1.4. Justificación.....	19
1.5. Hipótesis.....	21
1.5.1. Hipótesis general.....	21
1.5.2. Hipótesis específicas.....	21
II. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Bases teóricas.....	22
2.1.1. Aguas residuales.....	22
2.1.2. Aguas residuales domésticas.....	23
2.1.3. Características de las aguas residuales domésticas.....	24

2.1.4.	<i>Calidad de aguas residuales domésticas</i> .....	25
2.1.5.	<i>Cantidad de DQO en aguas residuales domésticas</i> .....	27
2.1.6.	<i>Turbiedad en aguas residuales domésticas</i> .....	29
2.1.7.	<i>Tratamiento de aguas residuales domésticas</i> .....	30
2.1.8.	<i>Sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas residuales</i> .....	32
2.1.9.	<i>Bioabsorbente de maracuyá en el tratamiento de aguas residuales</i> .....	35
2.1.10.	<i>Sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá en el tratamiento de aguas residuales</i> .....	37
2.1.11.	<i>Limitantes</i> .....	38
2.1.12.	<i>Marco Legal para la Gestión del Agua en el Perú: Ley N.º 29338, su Reglamento y el D.L. N.º 1083</i> .....	38
2.2.	<i>Definición de términos básicos</i> .....	40
III.	<b>MÉTODO</b> .....	42
3.1.	<i>Tipo y diseño de investigación</i> .....	42
3.2.	<i>Ámbito temporal y espacial</i> .....	42
3.2.1.	<i>Ámbito temporal</i> .....	42
3.2.2.	<i>Ámbito espacial</i> .....	43
3.3.	<i>Variables</i> .....	44
3.3.1.	<i>Variable independiente</i> .....	44
3.4.	<i>Población y muestra</i> .....	46
3.4.1.	<i>Población</i> .....	46
3.4.2.	<i>Muestra</i> .....	46

3.5.	Instrumentos.....	47
3.6.	Procedimientos.....	51
3.6.1.	<i>Toma de muestras de campo</i> .....	51
3.6.2.	<i>Procedimiento de caracterización de los parámetros físico químicos en el laboratorio FIGAE</i> .....	52
3.6.3.	<i>Preparación del bioabsorbente de maracuyá</i> .....	53
3.6.4.	<i>Pruebas de jarras</i> .....	53
3.6.5.	<i>Determinación final de DQO y Turbiedad</i> .....	54
3.6.6.	<i>Análisis final</i> .....	55
3.7.	Análisis de datos .....	56
3.8.	Consideraciones éticas .....	56
IV.	RESULTADOS.....	59
4.1.	Caracterización de los niveles de los parámetros físico - químicos en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche.....	60
4.1.1.	<i>Parámetros analizados: DQO y turbidez</i> .....	60
4.1.2.	<i>Presentación de resultados sin tratamiento</i> .....	61
4.2.	Determinación de la dosis óptima y la concentración residual de sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá.....	66
4.2.1.	<i>Análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i> .....	66
4.2.2.	<i>Análisis de la Turbidez</i> .....	71
4.3.	Estimación de las eficiencias obtenidas del tratamiento para la remoción de los parámetros físico – químicos como el DQO y Turbidez.....	77

4.3.1.	<i>Eficiencia de remoción para la Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i>	77
4.3.2.	<i>Eficiencia de remoción para la Turbidez</i> .....	78
4.4.	Análisis inferencial .....	80
4.4.1.	<i>Prueba de normalidad</i> .....	80
4.4.2.	<i>Análisis de regresión</i> .....	81
4.4.3.	<i>Prueba de hipótesis para la DQO</i> .....	87
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	93
VI.	CONCLUSIONES .....	96
VII.	RECOMENDACIONES.....	98
VIII.	REFERENCIAS.....	99
IX.	ANEXOS .....	104

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR .....	32
Tabla 2. Matriz de operacionalización de variables.....	45
Tabla 3. Volumen de agua en la PTAR María Reiche.....	46
Tabla 4. Caracterización inicial de las aguas residuales domésticas provenientes de la PTAR María Reiche.....	63
Tabla 5. Concentración de bioabsorbente y reducción de DQO.....	66
Tabla 6. Comparación de valores antes y después del tratamiento.....	71
Tabla 7. Concentración de bioabsorbente y reducción de Turbidez.....	72
Tabla 8. Comparación de valores antes y después del tratamiento.....	76
Tabla 9. Comparación con estándares normativos .....	76
Tabla 10. Valor de significancia de la prueba de normalidad.....	80
Tabla 11. Regresión múltiple para los datos de DQO .....	81
Tabla 12. Coeficientes para ecuación de regresión para la variable DQO .....	84
Tabla 13. Regresión múltiple para los datos de Turbidez.....	84
Tabla 14. Coeficientes para ecuación de regresión para la variable Turbidez.....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación conceptual entre coagulación y floculación con sulfato de aluminio	34
Figura 2. Valor del coeficiente de correlación intraclase para el instrumento.....	49
Figura 3. Parámetro físico químico DQO .....	61
Figura 4. Parámetro físico químico Turbidez .....	62
Figura 5. Parámetro físico químico Sólidos suspendidos .....	62
Figura 6. Parámetro físico químico Salinidad.....	62
Figura 7. Parámetro físico químico pH.....	63
Figura 8. Parámetro físico químico Conductividad eléctrica.....	63
Figura 9. Caracterización inicial de parámetros físico químicos PTAR María Reiche ..	64
Figura 10. Concentración de 0.5 gramos de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá.....	67
Figura 11. Concentración de 1 gramo de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá .....	68
Figura 12. Concentración de 1.5 gramos de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá.....	69
Figura 13. Concentración de 0.5 gramos de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá.....	73
Figura 14. Concentración de 1.0 gramos de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá.....	74
Figura 15. Concentración de 1.5 gramos de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá.....	75
Figura 16. Curva de regresión para datos de bioabsorbente de maracuyá de la variable DQO .....	82

Figura 17. Curva de regresión para datos del sulfato de aluminio de la variable DQO .	83
Figura 18. Curva de regresión para datos del bioabsorbente de maracuyá de la variable Turbidez .....	85
Figura 19. Curva de regresión para datos del sulfato de aluminio de la variable Turbidez	86
Figura 20. Prueba t de parámetros físico químicos .....	88
Figura 21. Prueba t de concentración residual .....	89
Figura 22. Prueba t de eficiencia.....	90
Figura 23. Prueba t de optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá.....	91

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo, optimizar el sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, para reducir la cantidad de DQO y turbiedad en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024. El estudio siguió un enfoque cuantitativo, de diseño experimental, con una muestra de 30 litros de agua residual doméstica. Se realizaron tres corridas experimentales, variando las concentraciones de los compuestos para analizar su efecto en la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la turbidez. Los resultados evidenciaron que la mezcla óptima, 1.5 g de sulfato de aluminio y 0.5 g de bioabsorbente de maracuyá, logró una reducción significativa de la DQO (hasta 137 mg/L) y de la turbidez (hasta 4.9 UNT), acercándose a los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa ambiental nacional. Las curvas de regresión ajustadas mostraron una alta correlación entre los datos observados y los pronosticados, lo que respalda la confiabilidad del modelo aplicado. En conclusión, la combinación de sulfato de aluminio (1.5g) y bioabsorbente de maracuyá (0.5g) representa una alternativa eficaz y ecológica para mejorar la calidad del agua tratada en contextos urbanos.

*Palabras clave:* Tratamiento de aguas residuales, sulfato de aluminio, bioabsorbente de maracuyá, reducción de DQO, reducción de turbidez.

### Abstract

The objective of this research was to optimal use of aluminum sulfate combined with passion fruit bioabsorbent to reduce COD and turbidity in domestic wastewater from the María Reiche WWTP in the Miraflores district, Lima 2024. The study followed a quantitative, experimental design approach, with a 30-liter sample of domestic wastewater. Three experimental runs were conducted, varying the concentrations of the compounds to analyze their effect on reducing Chemical Oxygen Demand (COD) and turbidity. The results showed that the optimal mixture, 1.5 g of aluminum sulfate and 0.5 g of passion fruit bioabsorbent, achieved a significant reduction in COD (up to 137 mg/L) and turbidity (up to 4.9 NTU), approaching the Maximum Permissible Limits (MPL) established by national environmental regulations. The fitted regression curves showed a high correlation between observed and predicted data, supporting the reliability of the applied model. In conclusion, the combination of aluminum sulfate (1.5 g) and passion fruit biosorbent (0.5 g) represents an effective and environmentally friendly alternative for improving treated water quality in urban settings.

*Keywords:* Wastewater treatment, aluminum sulfate, passion fruit biosorbent, COD reduction, turbidity reduction.

## I. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales es un desafío global fundamental en la gestión de los recursos hídricos, particularmente en un contexto de creciente urbanización y cambio climático. Según el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023), se estima que más del 80% de las aguas residuales en el mundo se vierten en el medio ambiente sin tratamiento adecuado, afectando significativamente la calidad de los recursos hídricos y la salud pública. En muchos países, el cumplimiento de los estándares de calidad del agua sigue siendo un desafío, y la búsqueda de métodos eficientes y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales es una prioridad internacional. Una de las estrategias emergentes para mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales es la utilización de coagulantes y bioabsorbentes naturales. Estudios recientes han demostrado que el uso de bioabsorbentes, como los derivados de frutas, en combinación con coagulantes convencionales, puede mejorar significativamente la eliminación de contaminantes orgánicos y reducir la turbidez. Estas innovaciones son esenciales para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 6, que busca garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

En Perú, la situación del tratamiento de aguas residuales también presenta retos importantes. Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2023), más del 17% de las aguas residuales domésticas no recibieron un tratamiento adecuado antes de ser vertidas en cuerpos de agua naturales. Este porcentaje de tratamiento impacta directamente en la calidad del agua, especialmente en zonas urbanas densamente pobladas como Lima.

En respuesta a estos desafíos, el gobierno peruano ha implementado diversas normativas para mejorar la infraestructura de tratamiento de aguas residuales y promover el uso de tecnologías más eficientes y sostenibles. Sin embargo, aún existen deficiencias, especialmente en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), donde los métodos

convencionales no siempre logran alcanzar los estándares de calidad requeridos. Es en este contexto que la búsqueda de soluciones innovadoras, como la combinación de sulfato de aluminio con bioabsorbentes naturales, se presenta como una alternativa prometedora para mejorar la eficiencia de las PTAR en el país.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) María Reiche, ubicada en el distrito de Miraflores, Lima, enfrenta problemas similares. A pesar de las inversiones en infraestructura, la planta aún lucha por cumplir con los estándares de calidad establecidos, particularmente en la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la turbiedad, parámetros críticos para la evaluación de la calidad del agua. Datos recientes proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2018) indican que los niveles de DQO en las aguas tratadas por la PTAR María Reiche superan los límites permisibles en un 20%, lo que subraya la necesidad urgente de mejorar los procesos de tratamiento. La implementación de métodos que combinen coagulantes tradicionales con bioabsorbentes podría también reducir los costos operativos y minimizar el impacto ambiental, ofreciendo un modelo sostenible que podría replicarse en otras PTAR del país.

La presente investigación propone la optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá para la reducción de DQO y turbiedad en aguas residuales domésticas. Este enfoque innovador también tiene el potencial de contribuir a la sostenibilidad de los recursos hídricos a nivel local, alineándose con los esfuerzos nacionales e internacionales por mejorar la gestión del agua.

## **1.1. Descripción y formulación del problema**

### ***1.1.1. Descripción del problema***

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) María Reiche, ubicada en el distrito limeño de Miraflores, tiene una capacidad operativa que le permite procesar aproximadamente 750 metros cúbicos de aguas residuales por día. Esta cifra equivale a un caudal máximo estimado de 8.68 litros por segundo. Esta tasa constante, alcanza un tratamiento total anual cercano a los 273,750 metros cúbicos. Dichos valores están respaldados por resoluciones emitidas por la ANA (2018), entidad encargada de regular y supervisar el aprovechamiento de los recursos hídricos en el país. La tecnología aplicada en esta planta combina reactores biológicos de lecho móvil (MBBR) con sistemas de ultrafiltración, lo que permite alcanzar una alta eficiencia en la depuración del agua. Además, el efluente tratado es reutilizado de manera sostenible para el riego de áreas verdes públicas, como parques y jardines del distrito. Estos datos resultan esenciales para investigaciones enfocadas en la optimización de procesos de tratamiento, especialmente aquellas que evalúan parámetros como la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la turbidez, con el fin de proponer soluciones eficaces para la mejora de la calidad del agua residual tratada.

La gestión efectiva de las aguas residuales es uno de los desafíos ambientales más apremiantes, especialmente en áreas urbanas donde la densidad poblacional incrementa la carga contaminante. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) María Reiche enfrenta dificultades persistentes para cumplir con los estándares de calidad exigidos, particularmente en lo que respecta a la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la turbiedad de las aguas tratadas. Estas deficiencias no solo comprometen la calidad del agua vertida en el medio ambiente, sino que también generan un impacto negativo en la salud pública y en la sostenibilidad de los recursos hídricos locales.

La DQO es un parámetro crítico que mide la cantidad de materia orgánica presente en el agua, la cual demanda oxígeno para su descomposición. Niveles elevados de DQO indican una alta concentración de contaminantes, lo que puede llevar a la eutrofización de cuerpos de agua y a la disminución de la biodiversidad acuática. Por otro lado, la turbiedad, causada por partículas suspendidas en el agua, no solo afecta la claridad del agua, sino que también puede proteger microorganismos patógenos de los efectos de la desinfección, aumentando los riesgos para la salud. (Organización mundial de la salud [OMS], 2022)

A pesar de las tecnologías disponibles, los métodos convencionales de tratamiento en la PTAR María Reiche no logran reducir estos parámetros a niveles aceptables. Esto pone de manifiesto la necesidad de explorar y aplicar nuevas tecnologías que puedan mejorar la eficiencia del tratamiento. En este contexto, la combinación de coagulantes tradicionales, como el sulfato de aluminio, con bioabsorbentes naturales derivados del maracuyá, se presenta como una solución innovadora y potencialmente efectiva. El uso de bioabsorbentes no solo podría mejorar la reducción de DQO y turbiedad, sino también ofrecer una alternativa más sostenible y económica al tratamiento convencional.

La falta de soluciones efectivas en la PTAR María Reiche no es un problema aislado, sino un reflejo de una problemática mayor que afecta a muchas plantas de tratamiento en el país. Si no se abordan de manera adecuada, las deficiencias en el tratamiento de aguas residuales podrían tener consecuencias graves, tanto para el medio ambiente como para la salud de las comunidades. Por ello, esta investigación se centra en evaluar la eficacia de una combinación de sulfato de aluminio y bioabsorbente de maracuyá para mejorar el rendimiento de la PTAR María Reiche, contribuyendo así a la mitigación de los impactos negativos asociados a la mala calidad del agua tratada.

### **1.1.2. Formulación del problema**

#### **Problema general**

- ¿Cómo la optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, reduce la cantidad de DQO y turbiedad en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024?

#### **Problemas específicos**

- ¿Cómo son las características de los parámetros físico químicos en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024?
- ¿Cuáles son las dosis óptimas y concentraciones residuales del DQO y turbiedad en el tratamiento del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024?
- ¿Cuál es la eficiencia del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá para la remoción de los parámetros físico químicos en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024?

## **1.2. Antecedentes**

### **1.2.1. Antecedentes internacionales**

Anders & Korn (2019), en su estudio titulado “Predicción de la dosis óptima de sulfato de aluminio para la mejora del tratamiento de aguas residuales en plantas urbanas”, artículo publicado por la Universidad de Estocolmo, Suecia, tuvo como objetivo principal evaluar la dosis óptima de sulfato de aluminio utilizada en plantas de tratamiento de aguas residuales. Utilizando redes neuronales para modelar el proceso, los investigadores lograron determinar mejoras significativas en la reducción de la turbidez y la estabilización del pH del agua tratada. Los resultados de la investigación concluyeron que el modelo predictivo permite calcular con alta precisión la dosis de coagulante necesaria para obtener la máxima eficiencia en el proceso

de purificación del agua residual, lo que optimiza el consumo de químicos y reduce el impacto ambiental de estos tratamientos.

Zhang et al. (2020) publicaron su investigación titulada “Evaluación de bioabsorbentes naturales en combinación con coagulantes tradicionales para la mejora del tratamiento de aguas residuales industriales” en la revista de ciencia y tecnología de la Universidad de Zhejiang, China. El objetivo fue evaluar la eficacia de diferentes bioabsorbentes, entre ellos el maracuyá, en la remoción de contaminantes. A través de experimentos en laboratorio, se observó que al combinar bioabsorbentes con sulfato de aluminio se alcanzó una mayor eficiencia en la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la turbidez del agua residual. La conclusión fue que la combinación de bioabsorbentes con coagulantes tradicionales no solo mejora los resultados de tratamiento, sino que también reduce la cantidad de químicos sintéticos requeridos, haciendo el proceso más sostenible.

Kumar et al. (2021), en su investigación publicada por el Instituto Indio de Tecnología, Nueva Delhi, titulada “Remoción de contaminantes orgánicos de aguas residuales mediante el uso de bioabsorbentes de origen vegetal y coagulantes”, se centraron en evaluar la eficiencia de diferentes bioabsorbentes en la remoción de materia orgánica de aguas residuales. Utilizando cascara de maracuyá como bioabsorbente en combinación con sulfato de aluminio, las pruebas demostraron una reducción considerable en la concentración de DQO. Los resultados indican que el bioabsorbente de maracuyá es una opción viable y eficiente para reducir los contaminantes en el tratamiento de aguas, promoviendo una mayor sostenibilidad en las plantas de tratamiento.

Singh et al. (2020), en su estudio “Uso de coagulantes naturales y químicos para el tratamiento de aguas residuales en áreas rurales”, publicado por la Universidad de Pune, India, tuvo como objetivo evaluar la combinación de coagulantes naturales y sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas residuales de zonas rurales. A través de pruebas de jarras y análisis de

la calidad del agua, los resultados mostraron una significativa mejora en la reducción de la turbidez y DQO cuando se usaban coagulantes naturales junto con sulfato de aluminio. Se concluyó que esta combinación puede ser una alternativa económica y eficiente en lugares donde los recursos son limitados.

Li et al. (2023), en su investigación titulada “Optimización de compuestos orgánicos y coagulantes en el tratamiento de aguas residuales domésticas”, artículo publicado en la Universidad de Beijing, China, evaluaron el uso de bioabsorbentes orgánicos combinados con sulfato de aluminio. El objetivo de la investigación fue determinar la efectividad de dicha combinación en la reducción de la turbidez y DQO. Las pruebas experimentales demostraron una reducción de hasta el 90% en la turbidez y un 70% en la DQO. Los investigadores concluyeron que esta combinación es altamente eficiente y representa una alternativa ecológica en el tratamiento de aguas residuales.

### ***1.2.2. Antecedentes nacionales***

Pérez et al. (2019) publicaron su trabajo titulado “Uso de bioabsorbentes naturales para la remoción de contaminantes orgánicos en el tratamiento de aguas residuales domésticas” en la revista Anales Científicos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. Su investigación tuvo como objetivo principal evaluar la eficacia del uso de bioabsorbentes en la remoción de DQO y turbidez. A través de estudios experimentales, los investigadores lograron una mejora significativa en la calidad del agua, logrando reducir la DQO y la turbidez en muestras tratadas con bioabsorbentes. La conclusión fue que los bioabsorbentes naturales ofrecen una solución efectiva y sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Torres (2020), en su estudio titulado “Evaluación de la combinación de sulfato de aluminio y bioabsorbentes en la reducción de la turbidez de aguas residuales en plantas urbanas”, artículo publicado en la revista Agros de la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, tuvo como objetivo evaluar la capacidad de los bioabsorbentes para reducir la turbidez en el

agua tratada. Las pruebas de jarras realizadas con diferentes concentraciones de bioabsorbentes y sulfato de aluminio mostraron una reducción significativa en la turbidez. La conclusión del estudio fue que el uso combinado de estos productos mejora considerablemente la calidad del agua tratada.

García et al. (2021), en su investigación titulada “Eficiencia de los bioabsorbentes naturales en el tratamiento de aguas residuales domésticas combinados con coagulantes”, publicada en la revista Peruana de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, compararon la eficiencia del sulfato de aluminio con varios tipos de bioabsorbentes naturales. A través de un enfoque experimental, el estudio demostró una mejora notable en la reducción de DQO y turbidez. Los resultados concluyeron que los bioabsorbentes, combinados con sulfato de aluminio, son una alternativa sostenible y eficiente para el tratamiento de aguas residuales.

Mendoza et al. (2022), en su estudio “Evaluación de la eficiencia del bioabsorbente en la remoción de contaminantes de aguas residuales domésticas”, artículo publicado en la Revista de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, evaluaron la eficiencia del bioabsorbente de maracuyá para la reducción de DQO y turbidez. Los resultados mostraron que el bioabsorbente de maracuyá, combinado con sulfato de aluminio, logró una reducción significativa de los contaminantes. El estudio concluyó que esta combinación es altamente eficiente y presenta un potencial para ser utilizada en plantas de tratamiento a nivel industrial.

Díaz et al. (2023), en su investigación titulada “Uso de bioabsorbentes combinados con sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas residuales domésticas”, artículo publicado en la revista Agroindustrial Science de la Universidad Nacional de Trujillo, Perú, se centraron en la evaluación del uso de bioabsorbentes para mejorar la eficiencia del sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas residuales. A través de pruebas experimentales, se logró una significativa

reducción de la DQO y turbidez, concluyendo que los bioabsorbentes representan una alternativa sostenible y efectiva para el tratamiento de aguas en diversas regiones del país.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

- Optimizar el sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, para reducir la cantidad de DQO y turbiedad en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Caracterizar los parámetros físico químicos en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.
- Determinar las dosis óptimas y las concentraciones residuales del DQO y turbiedad en el tratamiento del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.
- Estimar las eficiencias obtenidas del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, para la remoción de los parámetros físico químicos en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

### **1.4. Justificación**

La presente investigación se justifica por su relevancia en tres aspectos fundamentales: social, teórico y metodológico, cada uno de los cuales subraya la importancia de desarrollar soluciones innovadoras y efectivas para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

En el ámbito teórico, este estudio aporta al cuerpo de conocimiento existente sobre el tratamiento de aguas residuales, explorando la combinación de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá como una alternativa innovadora. La investigación se enmarca en teorías sobre la coagulación-floculación y la bioadsorción, que son procesos clave en la

remoción de contaminantes tanto inorgánicos como orgánicos. Al evaluar la efectividad de estos métodos combinados, la investigación no solo contribuye a la validación de teorías existentes, sino que también puede abrir nuevas vías para la investigación y desarrollo de tecnologías más sostenibles en el tratamiento de aguas residuales. Esto es particularmente relevante en un contexto global donde la eficiencia, sostenibilidad y costo-efectividad de los tratamientos son cada vez más importantes.

Desde el punto de vista práctica, la investigación se distingue por la aplicación de un enfoque experimental riguroso que permitió obtener datos empíricos sobre la efectividad del sulfato de aluminio y el bioabsorbente de maracuyá. Este enfoque experimental fue el ensayo Jar Test, el cual es un método de laboratorio usado para determinar la dosis óptima de coagulantes y floculantes en el tratamiento del agua. Consiste en realizar pruebas simultáneas en vasos con diferentes concentraciones, observando el comportamiento de la formación de flóculos y su posterior sedimentación.

Este enfoque metodológico no solo ofrece una base sólida para evaluar la viabilidad de la propuesta, sino que también proporciona un modelo que puede ser replicado en otras plantas de tratamiento, tanto en el contexto peruano como en otros países con desafíos similares. La selección de las variables y dimensiones, como las características fisicoquímicas, componentes inorgánicos y orgánicos, garantiza que el análisis sea integral y cubra todos los aspectos relevantes para la reducción de DQO y turbiedad.

Desde el aspecto social, la calidad del agua es un determinante crucial para la salud pública y el bienestar de las comunidades. En áreas urbanas densamente pobladas como Miraflores, el inadecuado tratamiento de aguas residuales domésticas tiene consecuencias directas sobre la salud de los habitantes, ya que los cuerpos de agua contaminados pueden ser focos de enfermedades hídricas y otros problemas de salud. Además, la contaminación del agua afecta también la calidad de vida y el entorno ecológico, comprometiendo los recursos hídricos

que son vitales para el desarrollo sostenible. Al proponer un método más eficiente para la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la turbiedad, esta investigación contribuye a mejorar la calidad del agua tratada, reduciendo riesgos ambientales y sanitarios, y mejorando las condiciones de vida de la población.

Esta investigación es relevante tanto para la comunidad científica como para la sociedad en general, al proponer soluciones innovadoras que pueden tener un impacto significativo en la calidad del agua tratada, la salud pública y el avance de los conocimientos en el campo del tratamiento de aguas residuales.

## **1.5. Hipótesis**

### ***1.5.1. Hipótesis general***

- La optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, reduce la concentración de DQO y turbiedad en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

### ***1.5.2. Hipótesis específicas***

- Los niveles de los parámetros físico químicos exceden los límites máximos permisibles para aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.
- La dosis óptima en el tratamiento del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá reduce las concentraciones residuales de DQO y turbiedad, en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.
- La dosis óptima obtenida del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, alcanza altas eficiencias en la mejora de aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Bases teóricas

#### 2.1.1. Aguas residuales

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019), las aguas residuales son aquellas que han sido afectadas negativamente en su calidad original a través de diversos procesos humanos, tales como el uso doméstico, industrial o agrícola. Estas aguas contienen una variedad de contaminantes, incluyendo materia orgánica, metales pesados y compuestos químicos que requieren tratamiento antes de su vertido en cuerpos receptores o su reutilización.

Para Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2020) de Estados Unidos, el término 'aguas residuales' se refiere al agua que ha sido utilizada y contaminada, procedente de actividades domésticas, industriales y agrícolas. Estas aguas contienen contaminantes como sólidos suspendidos, materia orgánica biodegradable, nutrientes, patógenos, y productos químicos tóxicos, y requieren un tratamiento adecuado para prevenir daños ambientales y a la salud humana.

Según el Instituto Nacional de Calidad (INACAL, 2018), aguas residuales son aquellas que resultan del uso del agua en diversas actividades humanas, como el lavado, el saneamiento, procesos industriales, entre otros. Estas aguas presentan una carga contaminante que incluye tanto contaminantes físicos, como sólidos en suspensión, como químicos y biológicos, que requieren un tratamiento para ser devueltas al ambiente o reutilizadas."

Por último, para la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2022), define las aguas residuales como cualquier tipo de agua que ha sido afectada en su calidad original como resultado de actividades humanas, incluyendo domésticas, industriales y agrícolas. Estas aguas pueden contener una amplia gama de contaminantes, como desechos orgánicos, patógenos, químicos peligrosos y metales pesados. El manejo y tratamiento adecuado de las aguas

residuales es crucial para proteger la salud pública, el medio ambiente y asegurar la sostenibilidad de los recursos hídricos.

### ***2.1.2. Aguas residuales domésticas***

Según la OMS (2019), las aguas residuales domésticas son aquellas que provienen del uso doméstico, como el agua utilizada en baños, cocinas, lavadoras, y otros usos en el hogar. Estas aguas contienen principalmente materia orgánica, detergentes, grasas y restos de alimentos, que requieren un tratamiento adecuado antes de ser vertidas al medio ambiente.

Para la EPA (2020), las aguas residuales domésticas se refieren al agua que ha sido usada en actividades residenciales como la higiene personal, el lavado de ropa y platos, y otros usos domésticos. Estas aguas contienen contaminantes como materia orgánica, grasas, aceites, jabón, y detergentes, los cuales necesitan ser tratados para prevenir la contaminación del agua y riesgos para la salud.

La Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2020) menciona que las aguas residuales domésticas son aquellas que resultan del uso cotidiano del agua en actividades residenciales, comerciales e institucionales, incluyendo desechos fisiológicos y otros provenientes de la higiene personal, la cocina y la limpieza. Estas aguas pueden contener una variedad de contaminantes, como materia orgánica biodegradable, sólidos suspendidos, nutrientes y microorganismos patógenos, lo que las convierte en un riesgo potencial para la salud pública y el medio ambiente si no se tratan adecuadamente.

Según la ANA (2020), las aguas residuales domésticas pueden mezclarse con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial, siempre que estas últimas no contengan sustancias peligrosas que excedan los límites establecidos por la normativa vigente.

Según el INACAL (2018), aguas residuales domésticas son aquellas aguas residuales generadas en los hogares, resultado de actividades como el baño, la cocina, la limpieza, y el lavado de ropa. Estas aguas contienen principalmente materia orgánica y sustancias químicas

derivadas de productos de limpieza y deben ser tratadas para evitar la contaminación de cuerpos de agua receptores.

Por último, para la ONU (2022), define las aguas residuales domésticas como aquellas que provienen del uso cotidiano en los hogares, incluyendo actividades como la higiene personal, la preparación de alimentos, y la limpieza. Estas aguas contienen una mezcla de contaminantes, incluyendo materia orgánica, nutrientes, y productos químicos de uso doméstico, y requieren un tratamiento adecuado para evitar su impacto negativo en la salud pública y el medio ambiente.

### ***2.1.3. Características de las aguas residuales domésticas***

**Materia Orgánica:** Las aguas residuales domésticas contienen una alta cantidad de materia orgánica biodegradable proveniente de alimentos, restos de cocina, y productos de higiene personal. Esta materia orgánica se descompone en el agua, contribuyendo a la demanda de oxígeno para su descomposición, medida como Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). (Taras et. al.,1985)

**Nutrientes:** Las aguas residuales domésticas suelen contener nutrientes como nitrógeno y fósforo, derivados de detergentes, productos de limpieza, y restos de alimentos. Estos nutrientes pueden contribuir a la eutrofización en cuerpos de agua receptores, promoviendo el crecimiento excesivo de algas y la disminución del oxígeno disuelto. (Tchobanoglous, et. al., 2014)

**Contaminantes Químicos:** Estas aguas pueden contener diversos productos químicos utilizados en la vida diaria, como detergentes, desinfectantes, y productos de cuidado personal. Estos compuestos pueden ser tóxicos o disruptores hormonales y requieren tratamiento especializado para su eliminación. (Mays, 2011)

**Patógenos:** Las aguas residuales domésticas pueden estar contaminadas con patógenos biológicos, incluyendo bacterias, virus y protozoos, que pueden ser perjudiciales para la salud

humana. La eliminación o inactivación de estos patógenos es crucial para la protección de la salud pública. (OMS, 2019)

**Sólidos Suspendidos:** Las aguas residuales domésticas contienen sólidos en suspensión, que incluyen partículas de materia orgánica e inorgánica. Estos sólidos pueden causar problemas de sedimentación y obstrucción en los sistemas de tratamiento y requieren eliminación adecuada para prevenir daños en las instalaciones. (EPA, 2020)

**pH:** De acuerdo con el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2010), el pH es un indicador clave en la evaluación de la calidad de las aguas residuales domésticas, ya que refleja el grado de acidez o alcalinidad de estas aguas. Este parámetro se expresa en una escala que va de 0 a 14, donde valores inferiores a 7 indican acidez, y superiores, alcalinidad. En condiciones normales, las aguas residuales domésticas suelen presentar un pH cercano a la neutralidad, generalmente entre 6.5 y 8.5, aunque este rango puede variar en función del tipo de detergentes, productos de limpieza y materia orgánica presentes.

#### ***2.1.4. Calidad de aguas residuales domésticas***

La calidad de las aguas residuales domésticas se refiere a las características físico-químicas y biológicas del agua proveniente del uso residencial, y es crucial para evaluar su impacto ambiental y la eficacia de su tratamiento. A continuación, se describen los principales aspectos de la calidad de las aguas residuales domésticas según el American Public Health Association (APHA, 2017).

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** La DQO mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales. Es un indicador importante de la carga orgánica de las aguas residuales y refleja el grado de contaminación. Valores elevados de DQO indican una alta concentración de materia orgánica que requiere tratamiento.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** La DBO mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para descomponer la materia orgánica biodegradable en un período específico (usualmente 5 días a 20°C). Este parámetro indica la cantidad de materia orgánica que los microorganismos pueden degradar, y es crucial para evaluar la eficiencia del tratamiento biológico.

**Sólidos Suspendidos Totales (SST):** Los sólidos suspendidos totales se refieren a las partículas sólidas que permanecen en suspensión en el agua y no se sedimentan rápidamente. Estos sólidos pueden ser orgánicos e inorgánicos y afectan la turbidez del agua. La reducción de SST es importante para mejorar la calidad del agua tratada y evitar problemas en los sistemas de tratamiento.

**Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo):** Los nutrientes, como nitrógeno y fósforo, provienen de detergentes, restos de alimentos y productos de cuidado personal. Su presencia en altas concentraciones puede causar eutrofización en cuerpos de agua receptores, lo que lleva a proliferaciones algales y disminución del oxígeno disuelto.

**Patógenos:** Las aguas residuales domésticas pueden contener patógenos, como bacterias, virus y protozoos, que pueden representar riesgos para la salud pública. La presencia de estos patógenos requiere tratamiento para su eliminación o inactivación para proteger a las personas y al medio ambiente.

**Aceites y grasas:** Los aceites y grasas en las aguas residuales comprenden una mezcla de sustancias de origen animal, vegetal o mineral que son poco solubles en agua y tienden a flotar en la superficie. Su presencia en efluentes domésticos es común, especialmente como resultado de actividades culinarias y de limpieza en el hogar. Según el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017), estos compuestos pueden generar obstrucciones en las redes de

alcantarillado, afectar los procesos de tratamiento y causar daños en cuerpos receptores si no se controlan adecuadamente. Por ello, es fundamental su monitoreo y remoción eficiente.

**Coliformes totales:** Los coliformes totales son un grupo amplio de bacterias que se utilizan como indicadores de contaminación biológica en el agua, ya que su presencia sugiere la posibilidad de contaminación por materia fecal u otras fuentes orgánicas. Estas bacterias están presentes de forma natural en el ambiente y en el intestino de humanos y animales. El Ministerio de Salud (MINSA, 2010) establece límites permisibles para coliformes en agua, ya que su detección puede indicar condiciones sanitarias inadecuadas y posibles riesgos para la salud pública.

**Coliformes Termotolerantes:** También conocidos como coliformes fecales, los coliformes Termotolerantes son un subgrupo de bacterias coliformes que pueden sobrevivir y desarrollarse a temperaturas elevadas (alrededor de 44.5 °C). Su presencia en aguas residuales domésticas constituye una señal más precisa de contaminación fecal reciente. Este parámetro es clave para evaluar los riesgos microbiológicos en los vertimientos y proteger la salud humana, especialmente en cuerpos de agua usados para recreación o abastecimiento.

#### ***2.1.5. Cantidad de DQO en aguas residuales domésticas***

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas residuales domésticas es un parámetro fundamental para evaluar la carga de materia orgánica en el agua y su potencial impacto ambiental. A continuación, se detalla la cantidad de DQO en aguas residuales domésticas y su importancia.

La DQO mide la cantidad total de oxígeno necesario para oxidar químicamente los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales. Este parámetro proporciona una indicación del contenido total de materia orgánica en el agua, que incluye tanto compuestos fácilmente biodegradables como los más resistentes a la descomposición.

Rango típico de DQO en aguas residuales domésticas: las aguas residuales domésticas generalmente presentan un rango de DQO que varía entre 200 y 600 mg/L. Este rango puede depender de varios factores, como el tipo de actividades realizadas en el hogar, el uso de productos químicos y la eficiencia de los dispositivos de tratamiento previos. Un valor elevado de DQO indica una alta carga orgánica, lo que sugiere la necesidad de un tratamiento más intensivo. (OMS, 2019)

En el marco legal peruano, específicamente en los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTARD), establecidos por el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, se dispone que el valor de la DQO no debe exceder los 200 mg/L cuando el vertimiento tiene como destino cuerpos naturales de agua, como ríos o lagunas. Este límite busca prevenir la disminución del oxígeno disuelto en el agua, la eutrofización y otros efectos nocivos sobre los ecosistemas acuáticos y la salud humana. (MINAM, 2010)

Importancia en el tratamiento de aguas residuales: La medición de la DQO es crucial para diseñar y evaluar sistemas de tratamiento de aguas residuales. Un alto nivel de DQO puede sobrecargar los sistemas de tratamiento, especialmente aquellos basados en procesos biológicos, y puede requerir etapas adicionales de tratamiento para reducir la carga orgánica a niveles aceptables antes de la descarga al medio ambiente. (EPA, 2020)

Efectos en el medio ambiente y la salud pública: Altos niveles de DQO en las aguas residuales pueden tener efectos negativos en el medio ambiente, incluyendo la reducción del oxígeno disuelto en cuerpos de agua receptores, lo que puede dañar la vida acuática. También puede representar un riesgo para la salud pública si no se trata adecuadamente, ya que los contaminantes pueden afectar la calidad del agua potable y los ecosistemas acuáticos. (OMS, 2019)

### ***2.1.6. Turbiedad en aguas residuales domésticas***

De acuerdo con los planteamientos técnicos propuestos por Metcalf y Eddy (2014), las aguas se clasifican en función de su origen y uso, lo cual permite un tratamiento adecuado según sus características físicas, químicas y biológicas. Esta clasificación distingue entre varios tipos de aguas, siendo las más relevantes:

**Aguas potables o de abastecimiento:** Son aquellas que han sido tratadas y cumplen con estándares de calidad para el consumo humano. Proceden de fuentes superficiales o subterráneas y pasan por procesos de potabilización antes de su distribución.

**Aguas residuales domésticas:** Son generadas como resultado de actividades cotidianas en los hogares, como el lavado, la cocina o el uso de servicios sanitarios. Contienen materia orgánica biodegradable, nutrientes, sólidos en suspensión y microorganismos.

**Aguas residuales industriales:** Proviene de procesos productivos en fábricas o centros de manufactura. Su composición varía según el tipo de industria, pudiendo contener metales pesados, compuestos tóxicos y otros residuos específicos.

**Aguas pluviales:** Se refiere al agua de lluvia que escurre sobre superficies urbanas o rurales, arrastrando consigo contaminantes del suelo, aceites, basura y otros residuos.

Esta clasificación permite diseñar estrategias diferenciadas para el tratamiento y la gestión de cada tipo de agua, conforme a su naturaleza y riesgo ambiental.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, la turbiedad en aguas residuales domésticas es un parámetro clave para evaluar la calidad del agua y su impacto en los sistemas de tratamiento y el medio ambiente. Aquí se describen los aspectos principales de la turbiedad en aguas residuales domésticas.

La turbiedad es una medida de la cantidad de partículas en suspensión en un líquido, que dispersan o absorben la luz. En las aguas residuales domésticas, la turbiedad se debe a la presencia de sólidos suspendidos como restos de alimentos, detergentes y otros materiales

orgánicos e inorgánicos. La turbidez se mide en Unidades Nephelométricas de Turbidez (NTU). (APHA, 2017)

**Rango Típico de Turbiedad:** La turbiedad en las aguas residuales domésticas típicamente varía entre 50 y 1,000 NTU. Un valor alto de turbidez indica una alta concentración de sólidos suspendidos, lo cual puede requerir tratamiento adicional para reducir los sólidos y mejorar la calidad del agua antes de su liberación o reutilización. (Water Environment Federation [WEF], 2017)

**Impacto en el Tratamiento de Aguas Residuales:** La alta turbiedad puede interferir con el tratamiento efectivo de las aguas residuales, afectando procesos como la sedimentación y la filtración. Los sistemas de tratamiento pueden necesitar etapas adicionales como la coagulación y floculación para reducir la turbidez y mejorar la eficiencia general del tratamiento. (Metcalf y Eddy, 2014)

**Efectos Ambientales y de Salud:** La turbidez elevada en aguas residuales puede afectar la calidad del agua en los cuerpos receptores, reduciendo la penetración de luz y afectando la fotosíntesis de plantas acuáticas. Además, puede enmascarar otros contaminantes y patógenos, aumentando el riesgo para la salud pública y el ecosistema acuático. (UNEP, 2020)

### ***2.1.7. Tratamiento de aguas residuales domésticas***

El tratamiento de aguas residuales domésticas es un proceso integral diseñado para eliminar contaminantes y reducir el impacto ambiental de las aguas residuales provenientes de actividades residenciales. Este proceso es crucial para proteger la salud pública y mantener la calidad del agua en cuerpos receptores como ríos, lagos y mares. Las aguas residuales domésticas contienen una variedad de contaminantes, incluyendo materia orgánica, nutrientes, sólidos suspendidos y patógenos, que deben ser gestionados adecuadamente.

Según el ECA, Estándar de Calidad Ambiental (2017), el tratamiento de aguas residuales generalmente se lleva a cabo en varias etapas, cada una con un propósito específico.

La primera etapa es el tratamiento primario, que se enfoca en la eliminación de sólidos grandes y partículas suspendidas mediante sedimentación. En esta etapa, el agua residual se introduce en tanques de sedimentación o decantadores, donde los sólidos se hunden al fondo y son retirados, mientras que el agua parcialmente clarificada se mueve a la siguiente etapa.

La segunda etapa es el tratamiento secundario, que tiene como objetivo eliminar la materia orgánica disuelta que no se eliminó en el tratamiento primario. Este proceso generalmente se realiza mediante métodos biológicos, donde microorganismos descomponen la materia orgánica en el agua. Los sistemas más comunes en esta etapa son los sistemas de lodos activados, los filtros percoladores y los sistemas de lechos bacterianos. La actividad microbiana reduce significativamente la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en el agua.

En algunos casos, se realiza un tratamiento terciario para abordar contaminantes específicos que no se eliminan en las etapas anteriores. El tratamiento terciario puede incluir procesos físicos, químicos o biológicos adicionales, como la filtración avanzada, la desinfección con cloro o luz ultravioleta, y la eliminación de nutrientes como nitrógeno y fósforo. Este nivel de tratamiento es especialmente importante en áreas con altas demandas de calidad del agua o en lugares donde el agua tratada se reutiliza para fines como riego o recarga de acuíferos.

El proceso de tratamiento de aguas residuales también incluye la gestión de los lodos generados en las etapas de tratamiento. Los lodos contienen una concentración significativa de materia orgánica y patógenos y deben ser tratados adecuadamente antes de su disposición final. Los métodos comunes para el manejo de lodos incluyen la digestión anaeróbica, que descompone la materia orgánica y produce biogás, y la deshidratación, que reduce el volumen de los lodos para su disposición o uso como fertilizante.

El tratamiento de aguas residuales domésticas es un proceso complejo y multifacético que busca reducir la contaminación del agua y proteger el medio ambiente y la salud pública.

A través de la combinación de métodos primarios, secundarios y terciarios, junto con una adecuada gestión de los lodos, se logra transformar las aguas residuales en efluentes que cumplen con los estándares ambientales y de salud.

En el contexto peruano, dichos estándares están regulados por los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por MINAM (2010), los cuales definen los valores aceptables de diversos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que deben cumplir los efluentes tratados antes de ser vertidos en cuerpos naturales de agua. Estos lineamientos aseguran que el proceso de depuración sea efectivo y que el impacto sobre los ecosistemas y la salud humana sea mínimo. A continuación, se presenta la tabla con los LMP establecidos por el MINAM para aguas residuales domésticas tratadas.

**Tabla 1**

*Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR*

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10000
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

### **2.1.8. Sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas residuales**

**2.1.8.1. Sulfato de aluminio.** El sulfato de aluminio es una sal inorgánica compuesta por aluminio, azufre y oxígeno, de fórmula química  $Al_2(SO_4)_3$ . Se presenta comúnmente en forma de polvo blanco o cristales solubles en agua. Este compuesto es ampliamente utilizado en diversos sectores, siendo su aplicación más conocida en el tratamiento de agua potable y aguas residuales.

En este ámbito, actúa como un coagulante que facilita la aglomeración y posterior sedimentación de partículas suspendidas, mejorando así la claridad del agua. También se emplea en la industria papelera para ajustar el pH durante el proceso de fabricación, y en

algunos casos, en la agricultura como aditivo para corregir suelos alcalinos. Su eficacia y disponibilidad lo convierten en una de las sustancias más utilizadas en procesos de purificación de agua a nivel global.

La coagulación es un proceso químico utilizado en el tratamiento de aguas, que consiste en la adición de sustancias coagulantes para desestabilizar las partículas coloidales presentes en el agua. Estas partículas, al perder su carga eléctrica, tienden a aglomerarse, facilitando su posterior eliminación.

Por su parte, la floculación es un proceso físico que sigue a la coagulación. Consiste en la agitación lenta del agua para promover la formación de flóculos, que son agregados más grandes y fácilmente sedimentables. Este proceso mejora la eficiencia en la remoción de contaminantes y sólidos suspendidos en el agua. (Metcalf y Eddy, 2014)

**2.1.8.2. Tratamiento de aguas residuales con sulfato de aluminio.** Gómez (2015), menciona que el sulfato de aluminio es un agente coagulante ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales para mejorar la calidad del agua al remover sólidos suspendidos, materia orgánica y otros contaminantes. Este compuesto químico, es fundamental en el proceso de coagulación - floculación, que facilita la clarificación del agua.

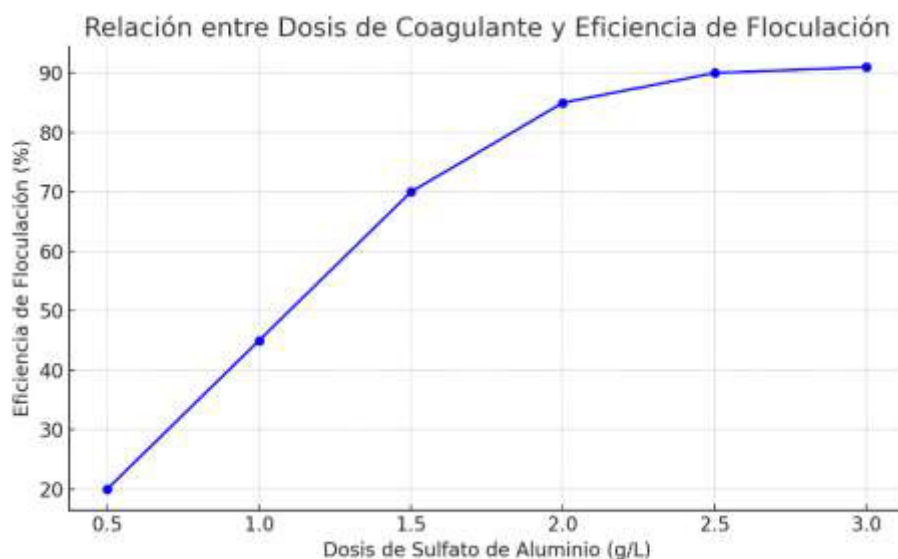
Cuando se añade sulfato de aluminio al agua, reacciona con el agua para formar compuestos de hidróxido de aluminio. Estos compuestos tienen la capacidad de neutralizar las cargas eléctricas de las partículas en suspensión, permitiendo que estas partículas se aglutinen en flóculos más grandes. Estos flóculos, al ser más densos, pueden ser separados fácilmente del agua mediante sedimentación o filtración (Mays, 2011).

El proceso de coagulación-floculación con sulfato de aluminio se realiza en varias etapas. Primero, el sulfato de aluminio se disuelve en el agua formando una solución ácida. La reacción química entre el sulfato de aluminio y el agua produce hidróxidos de aluminio, que se unen a las partículas en suspensión, formando flóculos. Estos flóculos se agrupan y aumentan

de tamaño, facilitando su remoción en las etapas subsiguientes del tratamiento. El agua tratada muestra una reducción significativa en la turbidez y en la carga de sólidos suspendidos (Gómez, 2015).

### Figura 1

*Relación conceptual entre coagulación y floculación con sulfato de aluminio*



*Nota.* Elaboración propia basada en Metcalf y Eddy (2014).

Además de su eficacia en la eliminación de sólidos, el sulfato de aluminio también contribuye a reducir la demanda de oxígeno en el agua al remover materia orgánica. Este aspecto es crucial en el tratamiento de aguas residuales, ya que una alta demanda de oxígeno puede sobrecargar los sistemas biológicos de tratamiento y afectar la calidad del agua tratada (García & Martínez, 2018).

El uso de sulfato de aluminio es especialmente efectivo en sistemas de tratamiento de aguas residuales que requieren una reducción rápida de turbidez y sólidos suspendidos. Sin embargo, su aplicación debe ser cuidadosamente controlada para evitar la introducción excesiva de aluminio en el agua tratada, ya que niveles elevados pueden tener efectos adversos en la salud y el medio ambiente (Mays, 2011).

### **2.1.9. Bioabsorbente de maracuyá en el tratamiento de aguas residuales**

**2.1.9.1. Bioabsorbente.** Para Ahalya et. al (2003), el bioabsorbente es un material de origen biológico, generalmente derivado de residuos agroindustriales, vegetales o microorganismos, que posee la capacidad de retener y remover contaminantes presentes en líquidos, principalmente metales pesados, materia orgánica o colorantes, a través de mecanismos físico - químicos como la adsorción e intercambio iónico. Estos materiales son considerados una alternativa sostenible y económica frente a los métodos tradicionales de tratamiento, debido a su abundancia, bajo costo y carácter renovable.

**2.1.9.2. Tipos de bioabsorbente.** De acuerdo con sus grupos funcionales, los bioabsorbentes pueden clasificarse en varios tipos, según los sitios activos presentes en su superficie, tales como:

- Grupos carboxilo (-COOH): encontrados en materiales como cáscaras de frutas y residuos de celulosa, permiten la interacción con cationes metálicos y compuestos orgánicos.
- Grupos hidroxilo (-OH): presentes en residuos lignocelulósicos como aserrín o bagazo, ofrecen sitios de unión para diversos contaminantes.
- Grupos amina (-NH<sub>2</sub>): comunes en biomasa microbiana o algas, poseen alta afinidad por iones metálicos.
- Grupos sulfhidrilo (-SH): aunque menos comunes, presentan una elevada capacidad de unión con metales pesados como mercurio y plomo.

**2.1.9.3. Bioabsorbente de maracuyá.** El bioabsorbente de maracuyá es un material innovador utilizado en el tratamiento de aguas residuales, derivado de los residuos de la fruta del maracuyá, especialmente de sus cáscaras. Este bioabsorbente tiene la capacidad de adsorber diversos contaminantes presentes en las aguas residuales, gracias a sus propiedades físicas y químicas únicas.

El proceso de adsorción mediante bioabsorbentes de maracuyá se basa en la capacidad de estos materiales para captar y retener contaminantes en su superficie. Las cáscaras de maracuyá contienen una alta cantidad de fibra y otros compuestos orgánicos que proporcionan una gran área superficial para la adsorción. Estos bioabsorbentes pueden eliminar contaminantes como metales pesados, colorantes y materia orgánica de las aguas residuales mediante mecanismos físicos como la adsorción y la formación de enlaces químicos con los contaminantes (Gómez et al., 2022).

El uso de bioabsorbentes de maracuyá en el tratamiento de aguas residuales ofrece varias ventajas. Primero, al ser un material natural y abundante, es una opción económica y sostenible en comparación con los adsorbentes sintéticos. Además, su uso contribuye a la valorización de residuos agrícolas, reduciendo el impacto ambiental de la eliminación de estos subproductos (Sánchez et al., 2019).

Durante el proceso de tratamiento, las cáscaras de maracuyá se preparan y se modifican para mejorar su capacidad de adsorción. Este proceso puede incluir tratamientos químicos o físicos para aumentar su superficie activa y mejorar su eficacia en la captura de contaminantes. Una vez que el bioabsorbente ha capturado los contaminantes, los residuos cargados pueden ser retirados y gestionados adecuadamente, mientras que el agua tratada muestra una reducción significativa en los niveles de contaminantes (Gómez et al., 2022).

El bioabsorbente de maracuyá también se ha utilizado en combinación con otros tratamientos, como la coagulación-floculación, para mejorar aún más la eficiencia del proceso de tratamiento. La combinación de métodos permite abordar una gama más amplia de contaminantes y lograr una mayor calidad del agua tratada (Sánchez et al., 2019).

El bioabsorbente de maracuyá es una alternativa efectiva y sostenible en el tratamiento de aguas residuales, gracias a su capacidad para adsorber diversos contaminantes y su perfil

ecológico favorable. Su uso en el tratamiento de aguas residuales no solo contribuye a la mejora de la calidad del agua, sino que también promueve la gestión eficiente de residuos agrícolas.

#### ***2.1.10. Sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá en el tratamiento de aguas residuales***

La combinación de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá en el tratamiento de aguas residuales es una estrategia avanzada que busca mejorar la eficacia del proceso de tratamiento al combinar las propiedades coagulantes del sulfato de aluminio con las capacidades de adsorción del bioabsorbente de maracuyá. Esta combinación permite abordar múltiples tipos de contaminantes y mejorar la calidad del agua tratada de manera más eficiente.

La combinación de estos dos materiales puede mejorar significativamente el tratamiento de aguas residuales. El sulfato de aluminio realiza la coagulación y floculación inicial, eliminando grandes cantidades de sólidos suspendidos y reduciendo la turbidez. Una vez que estos flóculos son formados y eliminados, el bioabsorbente de maracuyá puede actuar sobre el agua residual restante para capturar y remover contaminantes específicos que aún estén presentes. Este enfoque dual permite una eliminación más completa de los contaminantes y mejora la calidad del agua tratada (Sánchez et al., 2019).

El proceso combinado también puede ser adaptado para abordar diferentes tipos de contaminantes dependiendo de la proporción y la combinación de sulfato de aluminio y bioabsorbente de maracuyá utilizada. La eficacia de esta combinación puede variar según las características específicas de las aguas residuales y las condiciones del tratamiento, lo que permite ajustes en el proceso para optimizar los resultados (Gómez et al., 2022).

La combinación de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá representa una solución innovadora y eficaz para el tratamiento de aguas residuales. Esta estrategia aprovecha las ventajas de ambos materiales para lograr una eliminación más completa de contaminantes,

mejorando la calidad del agua tratada y promoviendo un enfoque más sostenible en el tratamiento de aguas residuales.

#### **2.1.11. Limitantes**

Dentro de las principales limitantes del desarrollo experimental estuvo relacionado con el presupuesto disponible, ya que la necesidad de repetir ensayos para asegurar la confiabilidad de los resultados, generó un incremento en los costos operativos, especialmente en materiales, reactivos y análisis de laboratorio.

Asimismo, se consideró como limitante la posible degradación del material bioabsorbente y las muestras del agua residual durante el periodo de almacenamiento y experimentación. Estos factores podrían influir en la eficiencia de adsorción y en la estabilidad de los resultados obtenidos.

Finalmente, el acceso al efluente utilizado en el estudio estuvo sujeto a autorizaciones administrativas y permisos institucionales, lo que condicionó la disponibilidad oportuna de las muestras necesarias para el desarrollo continuo de la fase experimental.

#### **2.1.12. Marco Legal para la Gestión del Agua en el Perú: Ley N.º 29338, su Reglamento y el D.L. N.º 1083**

En el año 2009, el Estado peruano promulgó la Ley N.º 29338, también conocida como la Ley de Recursos Hídricos. Esta norma establece el marco jurídico para la regulación, conservación y utilización responsable del agua en el territorio nacional, con el fin de garantizar su disponibilidad a largo plazo. La ley reconoce el agua como un bien público de dominio estatal, intransferible y no susceptible de privatización, reafirmando su valor estratégico para el desarrollo del país y el bienestar de su población.

Uno de los principios fundamentales de esta ley es el reconocimiento del acceso al agua potable como un derecho humano esencial, que debe ser priorizado sobre cualquier otro uso. Además, promueve una gestión sostenible e integral de los recursos hídricos, que contemple la

participación de actores sociales, económicos y ambientales, y que asegure el equilibrio entre el aprovechamiento del recurso y la conservación de los ecosistemas.

Para cumplir con sus objetivos, la ley crea la Autoridad Nacional del Agua (ANA), ente técnico responsable de otorgar derechos de uso, fiscalizar actividades relacionadas con el recurso hídrico y coordinar con los Consejos de Cuenca para una gestión descentralizada y participativa. Estos consejos están conformados por representantes del Estado, usuarios y organizaciones sociales, y su función es coordinar acciones en las diferentes unidades hidrográficas.

La norma también define un orden de prelación en los usos del agua, donde el consumo humano y el saneamiento ocupan el primer lugar, seguidos por actividades agrícolas, industriales, energéticas y recreativas, siempre que no se comprometa la sostenibilidad del recurso ni se afecte a otros usuarios.

Por otro lado, la protección de los cuerpos de agua (como ríos, lagunas, acuíferos y humedales) constituye una prioridad. Se establecen medidas para prevenir la contaminación, promover la reforestación y restaurar cuencas degradadas. Asimismo, se sanciona a quienes infrinjan las disposiciones legales mediante un sistema de multas, suspensión o revocación de derechos de uso.

El reglamento de la ley, aprobado mediante el Decreto Supremo N.º 001-2010-AG, desarrolla sus disposiciones y establece los procedimientos específicos para su implementación. Entre sus aportes principales están la regulación de los derechos de uso, los mecanismos de fiscalización, la determinación del valor económico del agua y la promoción de una gestión integrada con participación ciudadana.

Complementariamente, el Decreto Legislativo N.º 1083, promulgado en 2008, introduce reformas orientadas a modernizar la administración de los recursos hídricos. Este decreto refuerza el rol de la ANA, dota de mayor relevancia a los Consejos de Cuenca y

promueve un enfoque más eficiente y sostenible en la utilización del agua, considerando su valor ambiental, social y económico.

En conjunto, estas normas constituyen la base del sistema nacional de gestión del agua en el Perú. Su enfoque integral y participativo busca garantizar el equilibrio entre el uso racional del recurso y la protección del entorno natural, con la finalidad de asegurar el acceso equitativo y sostenible para las generaciones presentes y futuras.

## **2.2. Definición de términos básicos**

**Estación de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR):** Instalación destinada a la depuración de aguas residuales antes de su vertido al medio ambiente. Su función es reducir la carga orgánica, bacteriana y química del agua para proteger la salud pública y los ecosistemas acuáticos.

**Remoción de Contaminantes:** Se refiere al proceso mediante el cual se reducen o eliminan sustancias indeseables del agua. Esto puede lograrse por métodos físicos, químicos o biológicos, dependiendo del tipo y concentración del contaminante.

**Materia Orgánica:** Conjunto de compuestos que contienen carbono y que provienen de seres vivos o de residuos biológicos. En aguas residuales, su presencia en exceso puede generar descomposición anaerobia, malos olores y proliferación de microorganismos patógenos.

**Carga Contaminante:** Es la cantidad total de contaminantes presentes en un volumen determinado de agua. Este concepto se emplea para calcular el grado de deterioro ambiental que pueden generar las aguas residuales vertidas sin tratamiento.

**Clarificación del Agua:** Proceso físico-químico que busca mejorar la transparencia del agua mediante la eliminación de partículas suspendidas. Se logra principalmente mediante la coagulación, floculación y sedimentación.

**Capacidad de Adsorción:** Es la propiedad que tiene un material para retener en su superficie sustancias químicas o contaminantes. Esta capacidad depende de la estructura

porosa, el área superficial y la afinidad química del material con los compuestos presentes en el agua.

**Tiempo de Sedimentación:** Período que se requiere para que las partículas suspendidas en un líquido se depositen en el fondo del recipiente por efecto de la gravedad. Un parámetro clave para evaluar la eficiencia de los tratamientos físico-químicos.

**Técnicas de Bajo Costo en Tratamiento de Agua:** Son métodos accesibles económicamente que emplean materiales naturales o tecnologías simples para purificar el agua. Se utilizan especialmente en zonas rurales o comunidades con recursos limitados y suelen incluir bioabsorbentes, filtros naturales o procesos de decantación.

**Reutilización del Agua Tratada:** Es el uso controlado del agua que ha sido purificada mediante procesos físicos, químicos o biológicos para fines diversos como el riego, la limpieza o incluso usos industriales. Esta práctica contribuye a la conservación de los recursos hídricos y a la sostenibilidad ambiental.

### III. MÉTODO

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, que según Hernández y Mendoza (2018), la investigación aplicada es un tipo de investigación cuyo principal objetivo es resolver problemas prácticos y específicos en un contexto real. En el contexto del tratamiento de aguas residuales, una investigación aplicada podría buscar la mejor manera de implementar un nuevo método de tratamiento para mejorar la eficiencia y reducir costos en una planta de tratamiento.

También esta investigación es de enfoque cuantitativa, que según Hernández y Mendoza (2018), la investigación cuantitativa es un enfoque metodológico que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para identificar patrones, medir variables y realizar comparaciones objetivas. En este estudio, la investigación cuantitativa podría implicar la medición de variables como la reducción de turbidez y DQO en el agua antes y después del tratamiento, utilizando pruebas estadísticas para evaluar la significancia de los resultados.

La presente investigación adopta un diseño experimental, dado que se introduce de forma deliberada una variable independiente para observar su efecto en una variable dependiente. En cuanto al enfoque temporal, se trata de un estudio transversal, ya que la recolección de datos se efectuó en un único momento.

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

##### 3.2.1. *Ámbito temporal*

El ámbito temporal de esta investigación se centra en el año 2024. Este marco temporal abarca todo el periodo durante el cual se llevó a cabo la investigación, desde la fase de planificación y recolección de datos hasta el análisis y presentación de los resultados. El estudio se realizó en un periodo específico dentro de este año, que puede variar dependiendo de la disponibilidad de recursos y la programación de actividades en la planta de tratamiento de aguas residuales. La investigación se desarrolló en fases que incluyen la preparación del

bioabsorbente de maracuyá, la aplicación del sulfato de aluminio, y la evaluación de la eficacia del tratamiento en términos de reducción de DQO y turbidez en las aguas residuales.

### ***3.2.2. Ámbito espacial***

El ámbito espacial de esta investigación está localizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) María Reiche, ubicada en el distrito de Miraflores, Lima, Perú. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) María Reiche se ubica en las coordenadas UTM: Zona 18S, con una posición aproximada de 278,739 metros Este y 8,659,587 metros Norte, correspondientes al Datum WGS84.

El segundo ámbito espacial se encuentra el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la Universidad Nacional Federico Villarreal, este sitio es el escenario donde se llevará a cabo la investigación experimental y donde se aplicará la combinación de sulfato de aluminio y bioabsorbente de maracuyá para tratar las aguas residuales domésticas. La Universidad Nacional Federico Villarreal se sitúa en la Zona UTM 18S (Datum WGS84), con coordenadas aproximadas de 278 300 m Este y 8 658 800 m Norte.

La elección de estos lugares se debió a su relevancia como punto de tratamiento de aguas en un entorno urbano y su capacidad para proporcionar datos representativos sobre el impacto de las técnicas de tratamiento propuestas.

La investigación evaluará cómo estas técnicas afectan la calidad del agua tratada en esta planta específica, considerando las características particulares del agua residual en esta ubicación.

### 3.3. Variables

#### 3.3.1. *Variable independiente*

- **Sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá.**

Definición: Según la Asociación Americana de obras hidráulicas (AWWA, 2017), esta variable se refiere a la combinación de dos agentes de tratamiento en el proceso de purificación de aguas residuales.

Dimensiones: Dosificación (cantidad y la relación de combinación entre el sulfato de aluminio y el bioabsorbente de maracuyá) y variable de operación (tiempo y velocidad)

#### 3.3.2. *Variable dependiente*

- **Remoción de DQO y turbiedad en aguas residuales domésticas.**

Definición: Según APHA (2017) la DQO es una medida de la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica en el agua, mientras que la turbidez indica la cantidad de partículas suspendidas que afectan la claridad del agua.

Dimensiones: Características Físico Químicas (aspectos visibles y medibles del agua, como el DQO, la turbidez, el color, y la presencia de sólidos suspendidos) y Eficiencia del tratamiento (consistencia y durabilidad del tratamiento a lo largo del tiempo).

**Tabla 2**

*Matriz de operacionalización de variables*

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Independiente Sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá	Combinación de dos agentes de tratamiento en el proceso de purificación de aguas residuales. El sulfato de aluminio actúa como un coagulante que facilita la formación de flóculos al neutralizar las cargas de las partículas suspendidas, mientras que el bioabsorbente de maracuyá, derivado de cáscaras de la fruta, funciona como un adsorbente natural que captura contaminantes como metales pesados y materia orgánica. AWWA (2017).	Proceso de tratamiento de aguas residuales en el que se evalúa su capacidad para reducir la DQO y la turbiedad. Este proceso es medido a través de indicadores clave: la concentración de sulfato de aluminio y de bioabsorbente de maracuyá, ambas en mililitros, la relación de mezcla (ml/l), el tiempo de reacción (en segundos) y la velocidad de agitación, medida en revoluciones por minuto (RPM), que asegura una distribución homogénea de los componentes en el agua residual tratada.	Dosificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Concentración de sulfato de aluminio (ml)</li> <li>* Concentración de bioabsorbente de maracuyá (ml)</li> <li>* Relación de mezcla (ml/l)</li> </ul>	Escala ordinal
			Variable de operación	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Tiempo (s)</li> <li>* Velocidad (RPM)</li> </ul>	
Dependiente Remoción de DQO y turbiedad en aguas residuales domésticas	Disminución de dos indicadores clave de la calidad del agua: la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la turbidez. La DQO es una medida de la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica en el agua, mientras que la turbidez indica la cantidad de partículas suspendidas que afectan la claridad del agua. La reducción de estos parámetros refleja la efectividad del tratamiento en la mejora de la calidad del agua residual. MINAGRI (2019).	Parámetros que evalúan la calidad del agua tratada en función de su contenido de materia orgánica y partículas suspendidas. Estos parámetros se miden a través de indicadores como los estándares de calidad ambiental, que incluyen la turbidez (en NTU), el color del agua y los sólidos suspendidos totales. Además, se consideran otros estándares como la temperatura (en °C), la demanda química de oxígeno (DQO), el pH del agua y la concentración de DQO (mg/l), que reflejan el nivel de contaminación y la eficiencia del tratamiento aplicado en las aguas residuales domésticas.	Características físico químicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Estándares de calidad ambiental (turbidez (NTU), color de agua, sólidos suspendidos totales)</li> <li>* Estándares de calidad ambiental (Temperatura (°C), demanda química de oxígeno, ph del agua, concentración de DQO (mg/l))</li> </ul>	Escala ordinal
			Eficiencia del tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Eficiencia de reducción de turbidez</li> <li>* Eficiencia de reducción de DQO</li> <li>* Durabilidad del tratamiento</li> </ul>	

### 3.4. Población y muestra

#### 3.4.1. Población

La población de esta investigación está conformada por las aguas residuales domésticas tratadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) María Reiche, ubicada en el distrito de Miraflores, Lima. Esta población incluye todas las aguas residuales domésticas que ingresan a la planta durante el período de estudio en el año 2024. La población representa el total de las muestras de aguas residuales que serán sometidas al tratamiento con sulfato de aluminio y bioabsorbente de maracuyá, proporcionando una base amplia para evaluar la eficacia del proceso de tratamiento en diferentes condiciones operativas y de carga contaminante.

**Tabla 3**

*Volumen de agua en la PTAR María Reiche*

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Capacidad operativa diaria	750	m <sup>3</sup> /día
Caudal máximo estimado	8.68	litros/segundo (L/s)
Capacidad operativa anual	273,750	m <sup>3</sup> /año

#### 3.4.2. Muestra

La muestra en esta investigación se compone de 30 litros de agua, representativas de aguas residuales domésticas tomadas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) María Reiche. Esta muestra fue seleccionada y recolectada, siguiendo los criterios detallados a continuación:

- Técnica de muestreo: No probabilística, ya que se consideró a criterio de autor y juicio de experto.
- Frecuencia de Muestreo: La muestra se recolectó en un solo momento.

- Puntos de Muestreo: Entrada de la Planta: Muestra tomada directamente del flujo de aguas residuales antes de iniciar el tratamiento. Esta muestra proporcionó una base para comparar la calidad inicial del agua.
- Número de Muestras: Se recolectaron 30 litros de agua provenientes de la entrada de la planta.
- Método de Recolección: La muestra fue recogida en recipientes estériles para evitar contaminación. Se utilizó un sistema de muestreo automático para garantizar la precisión en la recolección y asegurar que las muestras sean representativas del flujo de agua.
- Conservación y Transporte: La muestra se conservó a una temperatura de 4°C y se transportó al laboratorio para su análisis dentro de las 24 horas posteriores a la recolección, para mantener la integridad de los datos.

### **3.5. Instrumentos**

Ficha de recolección de datos de campo y laboratorio: Este instrumento se utiliza para registrar de manera sistemática y detallada los resultados obtenidos tanto en el trabajo de campo como en las pruebas de laboratorio. Incluye datos relacionados con la calidad del agua antes y después del tratamiento, como la concentración de DQO, turbidez, pH, temperatura, y otros parámetros físicos y químicos relevantes.

- Cadena de custodia: Documento que garantiza la trazabilidad y la seguridad de las muestras de agua recolectadas desde el momento de su recolección hasta el análisis en el laboratorio. Asegura que las muestras no han sido alteradas y que los resultados del análisis son confiables y representativos.
- Ficha de observación: Instrumento utilizado para registrar de manera directa y objetiva las condiciones visuales, físicas y operativas del tratamiento de aguas residuales. Se emplea para anotar observaciones sobre el proceso, como la

aparición del agua, el comportamiento del sistema de mezcla y la eficacia del tratamiento en tiempo real.

#### - **Validación de los instrumentos**

Para asegurar resultados precisos y confiables en esta investigación, se aplicaron procedimientos cuidadosamente validados. Todos los métodos utilizados siguen normas estandarizadas reconocidas a nivel internacional, lo que garantiza uniformidad en las mediciones y facilita la comparación con otros estudios similares.

En lo que respecta a la calibración de los equipos (tales como el turbidímetro, el colorímetro, el multiparámetro y el reactor), se trabajó con soluciones patrón certificadas, siguiendo las instrucciones técnicas de los fabricantes. Este proceso se realizó con el acompañamiento de profesionales con experiencia en el análisis de agua, lo que permitió asegurar que los datos obtenidos reflejen adecuadamente la realidad.

Además, las fichas utilizadas para la recolección de información fueron elaboradas con criterios técnicos, incluyendo campos detallados para registrar datos esenciales como el código de muestra, fecha, hora, condiciones durante el muestreo, valores medidos y equipo empleado. Estas fichas fueron revisadas por especialistas del sector, quienes aportaron observaciones para mejorar su contenido y asegurar que cada aspecto clave del muestreo y análisis quede debidamente documentado.

En conjunto, este proceso de validación y supervisión profesional permitió establecer un sistema confiable de recolección y análisis de datos, reforzando la calidad y credibilidad de los resultados obtenidos en el estudio.

#### - **Confiabilidad de los instrumentos**

Para evaluar la confiabilidad de una ficha de observación, se emplea el coeficiente de confiabilidad inter evaluadores, siendo el más utilizado el Coeficiente de Correlación Intraclase (CCI). Este método consiste en que varios observadores registren las mismas conductas usando

la misma ficha, y luego se compara el grado de concordancia entre ellos. El CCI considera tanto la varianza sistemática como la aleatoria, evaluando así la consistencia entre evaluadores. Un valor alto de CCI indica una mayor confiabilidad del instrumento. Para hallar el CCI, se utilizó el programa estadístico SPSS y concerniente a los datos del presente estudio, el SPSS mostró los siguientes resultados:

## Figura 2

*Valor del coeficiente de correlación intraclase para el instrumento*

	Correlación intraclase <sup>b</sup>	Intervalo de confianza del 95%		Prueba F con valor verdadero 0			
		Límite inferior	Límite superior	Valor	df1	df2	Sig
Medidas individuales	.759 <sup>a</sup>	.294	.705	4.182	24	24	.000
Medidas promedio	.921	.528	.896	4.182	24	24	.000

Modelo de efectos aleatorios bidireccionales donde tanto los efectos de las personas como los efectos de las medidas son aleatorios.

a. El estadístico es el mismo, ya sea que el efecto de interacción esté presente o no.

b. Coeficientes de correlación intraclase tipo A utilizando una definición de concordancia absoluta.

Dado los resultados de confiabilidad para la ficha de observación para datos de parámetros físico químicos, consistente en 25 ítems, vemos que el CCI es igual a 0.921, lo que demuestra una excelente confiabilidad del instrumento, pues un CCI menor a 0.5, significa que el instrumento tiene poca fiabilidad, un valor entre 0.5 y 0.75, tiene una moderada fiabilidad, un valor entre 0.75 y 0.9, tiene buena fiabilidad y un valor mayor a 0.9, consideran que el instrumento tiene excelente fiabilidad.

### - Equipos

Multiparámetro marca HANNA: Dispositivo de medición que permite la evaluación simultánea de múltiples parámetros del agua, como pH, turbidez, temperatura, conductividad, y DQO. Este equipo es esencial para realizar análisis precisos y eficientes del agua en el laboratorio, proporcionando datos rápidos y confiables para el control de calidad del tratamiento de aguas residuales.

Estufa Ovens / Esterilizador al seco: Equipos utilizados para el secado y esterilización de muestras y materiales en el laboratorio. La estufa ovens proporciona un entorno controlado de temperatura para secar las muestras de agua y otros materiales, mientras que el esterilizador

al seco se usa para eliminar microorganismos a través de calor seco, garantizando que los equipos y materiales estén libres de contaminantes antes de su uso.

Tamizado Retsch 180 micron: Equipo de laboratorio diseñado para la separación y análisis de partículas sólidas en muestras de agua. El tamizador Retsch utiliza mallas con aperturas de 180 micrones para clasificar los sólidos suspendidos, permitiendo medir y analizar la concentración de partículas en las aguas residuales, lo cual es crucial para evaluar la turbidez y la efectividad del tratamiento.

Reactor Digital marca HACH: Dispositivo de laboratorio utilizado para realizar reacciones químicas controladas a temperaturas específicas. Es esencial para preparar muestras y realizar pruebas de análisis como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), proporcionando condiciones precisas para obtener resultados fiables en la evaluación de la calidad del agua.

Colorímetro Digital marca HACH: Instrumento que mide la concentración de colores específicos en una muestra de agua. Utiliza un método de comparación de colores para determinar la concentración de diferentes contaminantes, como metales o compuestos orgánicos, facilitando la evaluación de la calidad del agua en términos de color y presencia de impurezas.

Turbímetro marca HACH: Equipo utilizado para medir la turbidez del agua, que indica la cantidad de partículas en suspensión. El turbímetro HACH proporciona lecturas precisas en unidades NTU (Nephelometric Turbidity Units), esencial para evaluar la claridad del agua y la eficacia del proceso de tratamiento.

Floculador programable marca PHILLIPS: Dispositivo que facilita la formación de flóculos en el proceso de coagulación y floculación en el tratamiento de aguas. El floculador PHILLIPS permite ajustar y programar la velocidad y el tiempo de agitación para optimizar la formación de flóculos y mejorar la remoción de partículas y contaminantes.

Balanza Analítica marca OHAUS: Instrumento de alta precisión utilizado para pesar sustancias con exactitud en el laboratorio. La balanza analítica OHAUS es crucial para medir con precisión los reactivos y otros materiales, garantizando que las cantidades utilizadas en el tratamiento de aguas sean correctas para obtener resultados válidos.

Homogeneizador Waring / Mezclador de laboratorio: Equipos utilizados para mezclar y homogenizar muestras de agua y otros líquidos en el laboratorio. El homogeneizador Waring asegura una mezcla uniforme de los componentes, lo que es importante para la preparación de soluciones y la realización de análisis consistentes en la investigación.

### **3.6. Procedimientos**

El procedimiento para el desarrollo de esta investigación consta de cuatro etapas: toma de muestras de campo, preparación del bioabsorbente de maracuyá, pruebas de jarras, y determinación final de DQO y turbidez.

#### ***3.6.1. Toma de muestras de campo***

La investigación comenzó con la toma de muestras en la PTAR María Reiche, ubicada en el distrito de Miraflores. Para ello, se siguió el protocolo nacional de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales de la R.J. N° 010-2016-ANA. Las muestras se recolectaron en los pozos donde ingresaban las aguas residuales domésticas tratadas, gestionadas por la Municipalidad de Miraflores. Se utilizaron recipientes de plástico para tomar las muestras y medir parámetros de campo como la temperatura y el pH, utilizando un equipo multiparámetro marca Thermo Scientific, previamente calibrado con buffers de pH 4, 7 y 10.

Posteriormente, se midió la conductividad eléctrica, para lo cual se calibró el equipo con soluciones salinas de cloruro de potasio con concentraciones de 0.1 y 0.01 N. Una vez realizadas las mediciones de campo, se procedió a llenar galoneras de plástico con las muestras de agua, que contuvieron aproximadamente 42 litros cada una, para las etapas experimentales con el bioabsorbente de maracuyá combinado con sulfato de aluminio.

### ***3.6.2. Procedimiento de caracterización de los parámetros físico químicos en el laboratorio***

#### ***FIGAE***

Para el procedimiento de caracterización de parámetros físicos y químicos realizado en el laboratorio FIGAE, se determinó inicialmente la muestra correspondiente al DQO inicial, como punto de partida para el análisis. En esta etapa, se utilizaron dos reactivos fundamentales: el primero fue el reactivo de digestión, compuesto por dicromato de potasio; el segundo fue una mezcla preparada de ácido sulfúrico con sulfato de plata. Esta última solución ya se encontraba previamente preparada en el laboratorio, sin embargo, se dejó reposar entre 12 a 24 horas para asegurar su estabilidad.

Como paso previo al análisis, se acondicionó adecuadamente el área de trabajo y se dispuso de las pipetas correspondientes de 2,5 mL, 1,5 mL y 3,5 mL. Los viales empleados contaban con una capacidad aproximada de entre 15 a 20 mL. Se tomó una muestra de 10 mL en un vaso precipitado, sin añadir agua destilada, ya que se trató de una medición inicial directa desde la fuente de recolección (PETAR).

Seguidamente, se pipeteó 2,5 mL de la muestra al vial. Luego, se añadieron 1,5 mL del reactivo de digestión (dicromato de potasio) y, con todas las medidas de seguridad (guantes, mascarilla), se incorporaron 3,5 mL de la solución ácida preparada. Posteriormente, se agitó cuidadosamente el vial, se cerró con su tapa y se dejó reposar de 3 a 5 minutos. Durante este tiempo, la mezcla presentó un cambio de color y elevación de temperatura, por lo que no se manipuló hasta que se estabilizó.

Transcurrido este tiempo, se introdujo el vial en el digestor digital para iniciar el análisis del parámetro DQO. El proceso de digestión duró entre 90 minutos a 2 horas, permitiendo que los reactivos interactuaran bajo condiciones de temperatura controlada. Al finalizar la digestión, se obtuvo una lectura de DQO de 916 mg/L, valor registrado como parte de la matriz de caracterización inicial.

En cuanto a la turbidez, se procedió a calibrar el turbidímetro empleando estándares de 200, 20 y 10 NTU. Se preparó el vial específico del equipo, primero enjuagándolo con agua destilada. Luego, se introdujeron 10 mL de la muestra, se esperó a que los sólidos se asentaran ligeramente y se realizó la medición. La lectura del turbidímetro se obtuvo en un lapso de 2 a 3 minutos. Esta medición también fue registrada como parte de los valores iniciales de caracterización.

Finalmente, todos los datos obtenidos se anotaron cuidadosamente en la ficha correspondiente. Esta información formó parte esencial del proceso de caracterización de los demás parámetros analizados durante el trabajo de campo.

### ***3.6.3. Preparación del bioabsorbente de maracuyá***

En el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE, se preparó el bioabsorbente de maracuyá. Para ello, se utilizaron 6 kg de cáscaras de maracuyá, las cuales se secaron en una estufa a 50 °C durante 120 minutos. Una vez finalizado el secado, las cáscaras adquirieron una textura similar a la de galletas. Posteriormente, se trituraron con el homogeneizador durante 2 minutos a baja velocidad y 1 minuto a alta velocidad. Luego, se empleó un tamizador de 180 µm para obtener el bioabsorbente de maracuyá. El material final se almacenó en bolsitas herméticas de 12x10 cm, quedando listo para la tercera etapa del procedimiento.

### ***3.6.4. Pruebas de jarras***

Las pruebas experimentales para evaluar el tratamiento con bioabsorbente de maracuyá combinado con sulfato de aluminio se realizaron mediante la Prueba de Jarras (Jar Test). En este procedimiento, se prepararon cinco jarras, cada una con un litro de muestra de agua para el tratamiento.

En la primera corrida, se emplearon diferentes proporciones de sulfato de aluminio y bioabsorbente de maracuyá. Con la balanza digital, se midieron 0,5 gramos de sulfato de

aluminio y 0,5 gramos de bioabsorbente de maracuyá para la primera jarra. En la segunda jarra, se mantuvo la misma cantidad de sulfato de aluminio, pero se añadió 1 gramo de bioabsorbente de maracuyá. Para las jarras restantes, la cantidad de sulfato de aluminio se mantuvo constante, mientras que el bioabsorbente de maracuyá varió en 1,5 gramos, 2,0 gramos y 2,5 gramos, respectivamente, generando proporciones de (1:1; 1:2; 1:3; 1:4; 1:5). Los componentes se aplicaron directamente en cada jarra. Se añadió 1 litro de muestra en cada recipiente y se activó el floculador a 50 RPM durante 1 minuto para la agitación inicial. Luego, se incrementó la agitación a 200 RPM durante 30 minutos para permitir la formación de flóculos. Posteriormente, se permitió un tiempo de reposo de 24 horas para estabilizar los sedimentos. Con el fin de asegurar la precisión de los resultados, se repitió esta corrida.

En la segunda corrida, se mantuvo constante la cantidad de sulfato de aluminio en 1 gramo para todas las jarras, mientras que el bioabsorbente de maracuyá varió en 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 y 2,5 gramos. También se efectuó una repetición adicional de estas pruebas.

Finalmente, en la tercera corrida, se utilizó 1,5 gramos de sulfato de aluminio en todas las jarras, y las cantidades de bioabsorbente de maracuyá fueron de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 y 2,5 gramos. Esta corrida también contó con una repetición adicional.

En cada corrida y en sus respectivas repeticiones, se tomó aproximadamente 800 ml de muestra en un frasco plástico para el análisis de los parámetros de DQO y turbidez.

### ***3.6.5. Determinación final de DQO y Turbiedad***

Para determinar la DQO, se inició con la preparación de una solución de ácido sulfúrico y sulfato de plata, la cual se dejó reposar entre 24 y 48 horas para asegurar la completa disolución del soluto. A continuación, se preparó una muestra "blanco" con agua destilada, que sirvió como referencia "cero" para el colorímetro. Se utilizó una pipeta automática para medir 2,5 ml, 1,5 ml y 3,5 ml de muestra en viales de 15 ml, que luego fueron analizados con el colorímetro.

Se agregó 2,5 ml de agua residual doméstica a un vial de 15 ml, seguido por 1,5 ml de un reactivo de digestión preparado con dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) en medio ácido. Posteriormente, se añadieron 3,5 ml de la solución de ácido sulfúrico y sulfato de plata. Los viales se cerraron y se colocaron en un reactor digital para su digestión. Después de un periodo de 2 horas, se retiraron los viales y se calibró el colorímetro utilizando el vial de muestra "blanco", para luego proceder con las mediciones. Se realizaron tres lecturas consecutivas para cuantificar la DQO y se calculó el promedio de las mediciones, el cual se comparó con el límite máximo permitido según el estándar sectorial.

Para la determinación de la turbidez, se comenzó con la calibración del turbidímetro utilizando cinco estándares de referencia: <0.1, 20, 200, 1000 y 2000 NTU. Tras la calibración, se midieron las muestras, llenando las celdas de medición con las soluciones tratadas y registrando las lecturas correspondientes para cada tratamiento.

### ***3.6.6. Análisis final***

Una vez completadas las determinaciones de DQO y turbidez mediante los métodos descritos, se procedió a evaluar los resultados de las mediciones obtenidas mediante el método de la Prueba de Jarras. Esto implicó analizar las dosis óptimas de sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá aplicadas en cada tratamiento, comparando las concentraciones de los parámetros antes y después del proceso. Seguidamente, se llevó a cabo un análisis de las eficiencias alcanzadas en función de las dosis de coagulante y desinfectante aplicadas a cada muestra. Los datos recopilados se organizaron en cuadros y gráficos que ilustraron el impacto de cada dosis en la reducción de DQO y turbidez. Finalmente, con base en estos resultados, se elaboraron las conclusiones del estudio.

### 3.7. Análisis de datos

**Preparación de Muestras:** En el laboratorio, preparar las muestras para el análisis físico-químico y biológico. Esto incluye la filtración y la preparación de reactivos necesarios para las pruebas.

**Realización de Pruebas:** Realizar pruebas de turbidez, DQO, coliformes totales, y otros parámetros según sea necesario. Registrar los resultados detalladamente.

**Registro de Resultados:** Documentar los resultados obtenidos de cada muestra, incluyendo los valores de turbidez, DQO, y cualquier otro parámetro relevante.

**Evaluación de resultados:** Comparar los resultados obtenidos de las muestras antes y después del tratamiento para evaluar la efectividad del sulfato de aluminio y del bioabsorbente de maracuyá en la reducción de contaminantes. Esta comparación se realizó mediante la estadística descriptiva, con el uso de tablas y gráficos estadísticos; por otro lado para la afirmación de esta comparación (contrastación de hipótesis), se usó el estadígrafo t de Student, mediante el software estadístico SPSS.

**Revisión y Ajustes:** Revisar los procedimientos de recolección y análisis para asegurar la precisión y consistencia de los datos. Hacer ajustes en el protocolo si es necesario para mejorar la calidad del muestreo.

### 3.8. Consideraciones éticas

#### - Consentimiento Informado

**Permiso de la Planta de Tratamiento:** Se obtuvo el consentimiento y la aprobación de la administración de la PTAR María Reiche para realizar la investigación. Se aseguró que la planta esté informada sobre los objetivos, procedimientos y posibles impactos de la investigación.

Transparencia: se informó claramente a la administración y al personal de la planta sobre el propósito de la recolección de datos, el manejo de las muestras, y cómo los resultados serán utilizados.

- **Confidencialidad**

Protección de Datos: Asegurar que toda la información relacionada con los resultados del tratamiento y las condiciones de la planta se maneje de manera confidencial. Los datos fueron almacenados de forma segura y accesibles solo para el equipo de investigación.

Anonimato: Cuando se publicaron los resultados y se presentaron los datos, se garantizó que no se revele ninguna información que pueda identificar a la planta o al personal involucrado.

- **Integridad Científica**

Exactitud en la Recolección de Datos: Asegurar que los datos se recojan de manera precisa y honesta, sin manipulación o sesgo. Seguir rigurosamente los procedimientos establecidos para garantizar la validez de los resultados.

Reporte de Resultados: Informar de manera transparente sobre los resultados, tanto positivos como negativos, sin omitir datos relevantes que puedan afectar las conclusiones del estudio.

- **Minimización del Impacto Ambiental**

Procedimientos de Muestreo: Realizar la recolección de muestras de manera que minimice cualquier posible impacto ambiental adicional en la planta y en el entorno circundante.

Manejo de Residuos: Asegurar que los residuos generados durante la investigación, como los reactivos utilizados y las muestras no utilizadas, sean gestionados y eliminados de acuerdo con las normativas ambientales vigentes.

- **Seguridad del Personal**

Protocolos de Seguridad: Implementar y seguir protocolos de seguridad para proteger al personal de investigación que maneja las muestras y realiza los análisis. Esto incluye el uso adecuado de equipo de protección personal y el cumplimiento de las normas de seguridad del laboratorio.

Capacitación: Asegurar que todo el personal involucrado en la recolección y análisis de muestras esté debidamente capacitado en los procedimientos y en la gestión de riesgos asociados

- **Consideraciones sobre el Uso de Recursos**

Eficiencia en el Uso de Recursos: Asegurarse de que los recursos, como el agua utilizada en los procesos de prueba y los reactivos, se utilicen de manera eficiente para evitar el desperdicio innecesario.

#### IV. RESULTADOS

El estudio se llevó a cabo con el objetivo de evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la aplicación de sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá. Se tomaron muestras de agua residual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) María Reiche, Miraflores, y se sometieron a diferentes tratamientos con variaciones en la dosificación de coagulantes y tiempo de sedimentación. El proceso experimental incluyó las siguientes etapas:

- Caracterización inicial del agua residual: Se midieron parámetros clave como la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la turbidez antes del tratamiento.
  - Preparación de los coagulantes: Se prepararon soluciones de sulfato de aluminio en diferentes concentraciones y se obtuvo el bioabsorbente de maracuyá a partir de cáscaras secas y trituradas.
  - Aplicación de los tratamientos: Se realizaron pruebas de coagulación-floculación con diferentes proporciones de sulfato de aluminio y bioabsorbente.
  - Medición postratamiento: Se analizaron nuevamente los valores de DQO y turbiedad para determinar la eficiencia de reducción en cada caso.
  - Análisis estadístico: Se aplicaron métodos de estadística descriptiva e inferencial para evaluar la significancia de los cambios observados.
- **Importancia de los resultados para la optimización del tratamiento de aguas residuales**

Los resultados obtenidos en este estudio tienen un impacto significativo en la mejora de los procesos de tratamiento de aguas residuales en la PTAR María Reiche y en otras plantas con condiciones similares. La aplicación de sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá demostró una reducción efectiva de DQO y turbidez, lo que sugiere las siguientes implicancias:

Eficiencia del tratamiento: Se logró una reducción significativa de la DQO, lo que indica una mejora en la eliminación de materia orgánica disuelta. La turbidez disminuyó notablemente, evidenciando una mayor clarificación del agua. La combinación de bioabsorbente con sulfato de aluminio mejoró el rendimiento del tratamiento en comparación con el uso exclusivo del coagulante químico.

Beneficios ambientales y económicos: La incorporación de un bioabsorbente natural reduce el uso de coagulantes sintéticos, minimizando el impacto ambiental del tratamiento. La utilización de residuos de maracuyá como bioabsorbente representa una alternativa sostenible y de bajo costo para mejorar la eficiencia del proceso. Se reduce la cantidad de lodos generados, facilitando su manejo y disposición final.

Aplicabilidad y optimización del proceso: Los resultados pueden servir como base para la implementación de tecnologías híbridas en plantas de tratamiento, combinando métodos químicos y biológicos. Se recomienda la optimización de las proporciones de sulfato de aluminio y bioabsorbente para lograr una eficiencia máxima con el menor impacto ambiental. Se plantea la posibilidad de realizar pruebas a escala industrial para validar la viabilidad del tratamiento en volúmenes mayores de agua residual.

#### **4.1. Caracterización de los niveles de los parámetros físico - químicos en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche**

##### **4.1.1. Parámetros analizados: DQO y turbidez**

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Se expresa en mg/L y representa la carga contaminante del agua residual.

Turbidez: Se mide en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (NTU) y es un indicador de la presencia de sólidos en suspensión.

#### ***4.1.2. Presentación de resultados sin tratamiento***

Antes de aplicar el tratamiento propuesto con sulfato de aluminio y bioabsorbente de maracuyá, se realizó la caracterización inicial de las aguas residuales domésticas provenientes de la PTAR María Reiche.

Esta etapa fue fundamental para establecer la línea base de los parámetros fisicoquímicos presentes en el agua, permitiendo evaluar posteriormente la efectividad del tratamiento. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los principales indicadores de calidad del agua sin intervención alguna.

#### **Figura 3**

*Parámetro físico químico DQO*



**Figura 4**

*Parámetro físico químico Turbidez*

**Figura 5**

*Parámetro físico químico Sólidos suspendidos*

**Figura 6**

*Parámetro físico químico Salinidad*

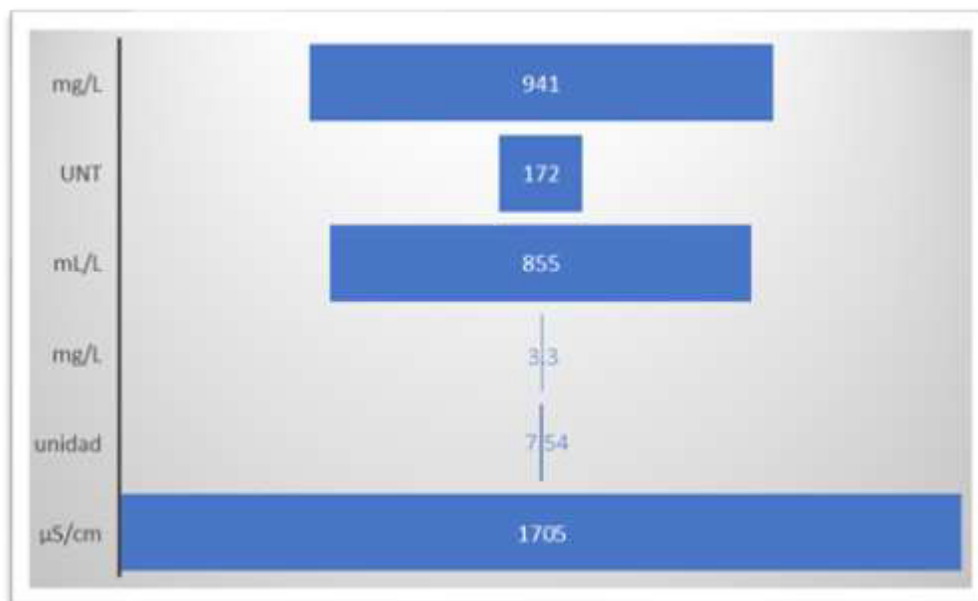


**Figura 7***Parámetro físico químico pH***Figura 8***Parámetro físico químico Conductividad eléctrica***Tabla 4***Caracterización inicial de las aguas residuales domésticas provenientes de la PTAR María Reiche*

	Und	Resultado	LMP
<b>DQO</b>	mg/L	941	200
<b>Turbiedad</b>	UNT	172	No clasifica
<b>Sólidos suspendidos</b>	mL/L	855	150
<b>Salinidad</b>	mg/L	3.3	1000
<b>pH</b>	unidad	7.54	6.5-8.5
<b>Conductividad eléctrica</b>	μS/cm	1705	1500

## Figura 9

*Caracterización inicial de parámetros físico químicos PTAR María Reiche*



### - Interpretación:

Los resultados obtenidos en la caracterización inicial de las aguas residuales domésticas provenientes de la PTAR María Reiche evidencian una alta carga contaminante, lo que confirma la necesidad de aplicar un tratamiento eficiente antes de cualquier tipo de vertimiento. En primer lugar, el valor de Demanda Química de Oxígeno (DQO) fue de 941 mg/L, lo que indica una gran presencia de materia orgánica, tanto biodegradable como no biodegradable. Este nivel supera ampliamente los límites permisibles para aguas tratadas, que según MINAM no deben sobrepasar los 200 mg/L para descargas seguras, lo que representa un grave riesgo ambiental si no se aplica un tratamiento adecuado.

Asimismo, la turbiedad registrada fue de 172 UNT, evidenciando la existencia de una gran cantidad de partículas en suspensión, tales como sólidos finos, coloides y microorganismos. Este parámetro afecta directamente la claridad y calidad visual del agua, y puede interferir en procesos posteriores como la desinfección. Según el ECA (Estándar de Calidad Ambiental) inmersa en el DS N° 004-2017-MINAM, para aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, niveles mayores a 5 UNT ya representan un grado de

contaminación, por lo tanto, este resultado refuerza la necesidad de procesos de coagulación y floculación para su remoción.

El nivel de sólidos suspendidos fue de 855 mL/L, un valor bastante elevado, lo que indica una significativa carga de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos. Esta condición es típica en aguas residuales domésticas sin pretratamiento, y puede generar sedimentación excesiva, malos olores y obstrucción en los sistemas de tratamiento. En línea con los LMP requeridos por el MINAM, esta concentración de sólidos suspendidos no debe sobrepasar los 150 mL/L.

Por otro lado, la salinidad obtenida fue de 3.3 mg/L, lo que indica una baja presencia de sales disueltas. Este valor es positivo, ya que sugiere que no hay contaminación significativa de origen industrial o por salmueras. Sin embargo, su monitoreo sigue siendo relevante, pues niveles elevados pueden interferir en procesos biológicos del tratamiento.

El valor de pH fue de 7.54 unidades, lo que se encuentra dentro del rango neutro (6.5 – 8.5) según los LMP del MINAM, ideal para el tratamiento de aguas residuales. Esta condición es favorable para los procesos de coagulación-floculación y biodegradación, ya que no se requieren ajustes extremos en la alcalinidad del agua.

Finalmente, la conductividad eléctrica registrada fue de 1705  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que revela una alta concentración de iones disueltos, como cloruros, sulfatos, sodio o calcio. Aunque estos iones no son contaminantes orgánicos, sí pueden afectar el funcionamiento de ciertos tratamientos, en especial los de tipo electroquímico o biológico. Este valor supera el LMP según el MINAM (1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), para vertimientos, lo cual representa un desafío adicional para garantizar un tratamiento eficaz.

## 4.2. Determinación de la dosis óptima y la concentración residual de sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá

### 4.2.1. Análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

A continuación, se presenta una tabla con los valores de reducción de DQO en función de diferentes concentraciones de bioabsorbente de maracuyá:

**Tabla 5**

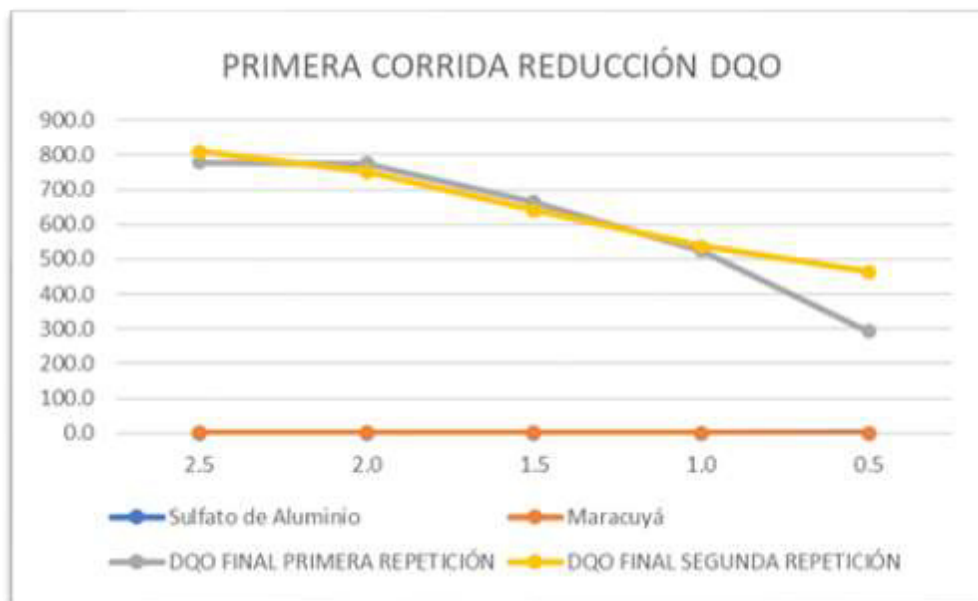
*Concentración de bioabsorbente y reducción de DQO*

Corridas	Concentración		DQO final primera repetición (mg/L)	DQO final segunda repetición (mg/L)
	Sulfato de Aluminio (g)	Bioabsorbente Maracuyá (g)		
Primera corrida	0.5	2.5	778.0	810.0
		2.0	775.0	750.0
		1.5	665.0	640.0
		1.0	524.0	538.0
		0.5	293.0	463.0
Segunda corrida	1.0	2.5	752.0	800.0
		2.0	743.0	782.0
		1.5	502.0	713.0
		1.0	384.0	406.0
		0.5	254.0	196.0
Tercera corrida	1.5	2.5	949.0	933.0
		2.0	1030.0	747.0
		1.5	800.0	488.0
		1.0	291.0	272.0
		0.5	196.0	137.0

Se observa que el uso del bioabsorbente en combinación con sulfato de aluminio mejora notablemente la reducción de DQO, con una mayor eficiencia al disminuir la concentración de bioabsorbente hasta 0.5 g.

**Figura 10**

*Concentración de 0.5 gramos de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá*



**- Interpretación:**

La figura muestra los resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) obtenidos en dos repeticiones experimentales para cinco diferentes combinaciones de dosis de sulfato de aluminio y bioabsorbente de maracuyá, correspondientes a la primera corrida del tratamiento.

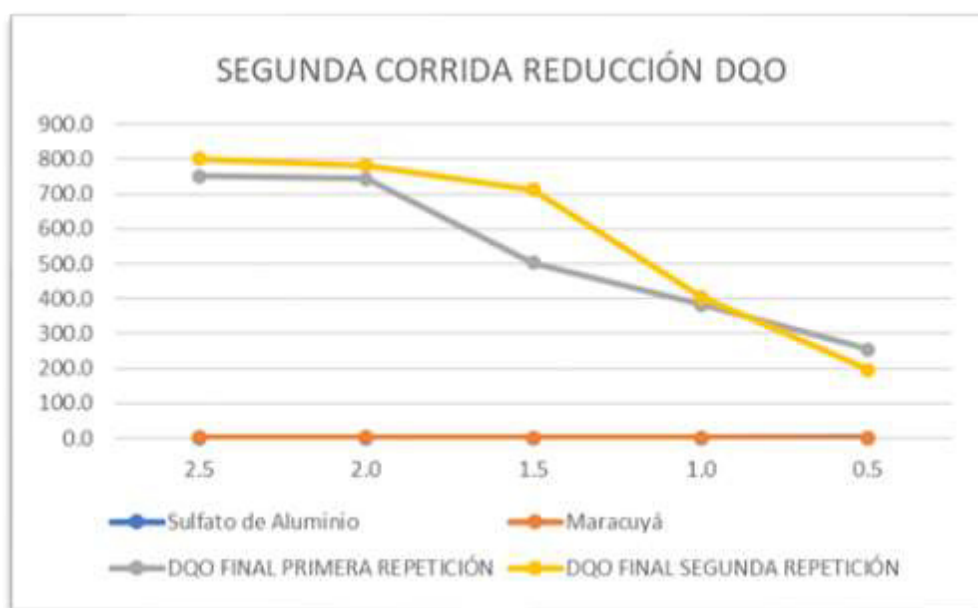
Se observa una tendencia general a la disminución de la DQO a medida que se reduce la dosis del bioabsorbente y se mantiene o ajusta la dosis del coagulante químico. Particularmente, los siguientes aspectos destacan que, en ambas repeticiones, la mayor concentración de bioabsorbente (2.5 g) combinada con una dosis baja de sulfato de aluminio (0.5 g) no logra una reducción significativa, registrando valores de DQO entre 778.0 y 810.0 mg/L, lo cual indica una baja eficiencia de remoción. A medida que se reduce progresivamente la dosis del bioabsorbente (de 2.0 g a 0.5 g) y se prueba con diversas concentraciones de sulfato de aluminio, se evidencian mejoras notables en la reducción de DQO. Las menores concentraciones finales de DQO se obtienen con 0.5 g de bioabsorbente y 1.5 g de sulfato de aluminio, alcanzando una concentración residual de 293.0 mg/L en la primera repetición y

463.0 mg/L en la segunda, lo que representa una remoción considerable en comparación con los valores iniciales (941 mg/L sin tratamiento).

Esta tendencia sugiere que la eficacia del tratamiento mejora con una proporción más alta de coagulante químico y una menor cantidad de bioabsorbente, posiblemente por una mejor coagulación de los compuestos orgánicos presentes en el agua residual.

### Figura 11

*Concentración de 1 gramo de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá*



#### - Interpretación:

La figura presenta los valores finales de Demanda Química de Oxígeno (DQO) obtenidos en dos repeticiones, luego de aplicar diferentes combinaciones de sulfato de aluminio y bioabsorbente de maracuyá durante la segunda corrida experimental.

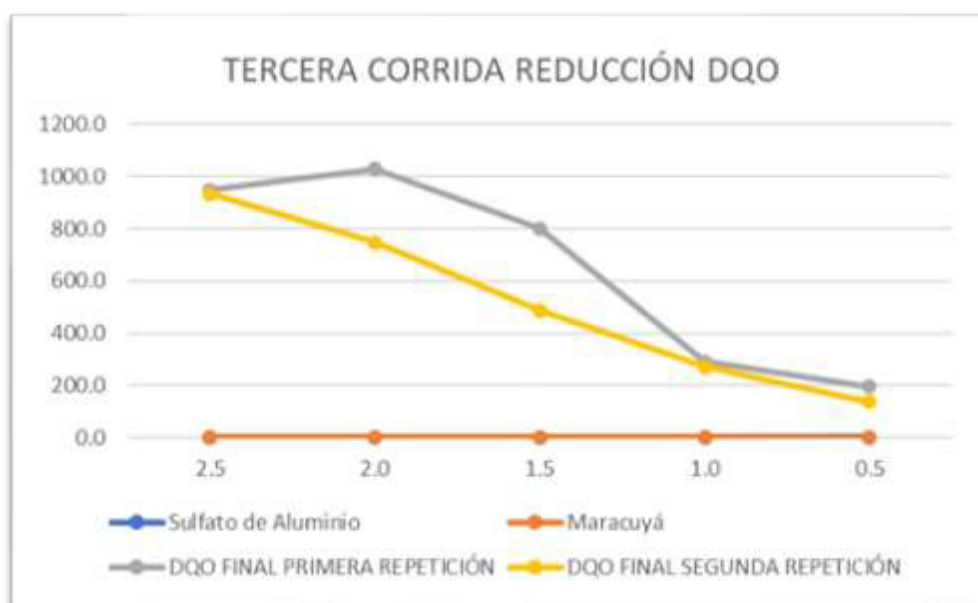
En esta corrida se mantuvo constante la dosis de sulfato de aluminio en 1 gramo, mientras que se varió la cantidad de bioabsorbente de maracuyá desde 2.5 g hasta 0.5 g. A partir del análisis de los resultados se identifican observaciones como, la combinación con mayor dosis de bioabsorbente (2.5 g) produjo valores de DQO relativamente altos, es decir, 752 mg/L y 800 mg/L en la primera y segunda repetición, respectivamente. Esto sugiere que un exceso de bioabsorbente no mejora necesariamente la eficiencia del tratamiento,

probablemente por sobresaturación o interferencia en la floculación. Conforme se reduce progresivamente la dosis del bioabsorbente, se evidencia una mejora en la eficiencia del tratamiento, observándose una marcada disminución en los niveles de DQO. La dosis de 1 g de bioabsorbente logra disminuir la DQO a 384 mg/L y 406 mg/L, mostrando un avance notable frente a dosis más altas. La combinación más efectiva fue con 0.5 g de bioabsorbente, que permitió alcanzar una concentración residual de 254 mg/L y 196 mg/L, en la primera y segunda repetición, respectivamente. Esto representa una reducción significativa desde el valor inicial sin tratamiento (941 mg/L), lo cual evidencia una eficiencia de remoción superior al 79%.

Estos resultados confirman que, bajo una dosis constante de coagulante (1 g de sulfato de aluminio), una menor cantidad de bioabsorbente de maracuyá (0.5 g) permite una mayor remoción de la carga orgánica presente en el agua residual. Esta eficiencia podría deberse a una mejor sinergia en el proceso de coagulación-floculación, sin saturar el sistema con componentes orgánicos adicionales provenientes del bioabsorbente.

### Figura 12

*Concentración de 1.5 gramos de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá*



- **Interpretación:**

En esta tercera corrida, se trabajó con una dosis constante de 1.5 gramos de sulfato de aluminio, mientras que se modificaron las dosis de bioabsorbente de maracuyá desde 2.5 g hasta 0.5 g, con el fin de observar su efecto sobre la reducción de la DQO en aguas residuales domésticas tratadas.

Los principales hallazgos son que, con la dosis más alta de bioabsorbente (2.5 g), se obtuvieron valores elevados de DQO final: 949 mg/L y 933 mg/L. Este resultado indica una mínima o nula eficiencia de remoción, e incluso en algunos casos un posible incremento de materia orgánica en el sistema, probablemente debido a la sobresaturación del medio por el exceso de bioabsorbente, que puede interferir con la acción del coagulante o aportar más carga orgánica. Al reducir la dosis de bioabsorbente a 2 g, se empieza a observar una mejoría parcial, bajando la DQO a 1030 mg/L en la primera repetición (lo cual es anómalo y más alto que el valor sin tratamiento) y 747 mg/L en la segunda. Esta inconsistencia podría deberse a errores experimentales o inestabilidad en la mezcla de los componentes. Una mejora sustancial se da con 1.5 g de bioabsorbente, logrando valores de 800 mg/L y 488 mg/L. Aunque el valor de 800 mg/L en la primera repetición aún es alto, la segunda repetición evidencia una reducción notable, lo cual indica una mejor interacción entre el coagulante y el bioabsorbente. La eficiencia se incrementa de forma destacada con 1 g de bioabsorbente, registrando valores de DQO mucho menores: 291 mg/L y 272 mg/L, lo que indica un proceso de remoción efectivo y consistente. Finalmente, la combinación más eficaz fue con 0.5 g de bioabsorbente, alcanzando una concentración residual de 196 mg/L y 137 mg/L, en la primera y segunda repetición respectivamente. Estos resultados representan una reducción de hasta el 85.44% respecto al valor inicial (941 mg/L), lo cual confirma la efectividad óptima de esta dosificación en esta corrida.

Esta tercera corrida ratifica que, al mantener 1.5 g de sulfato de aluminio, la reducción progresiva del bioabsorbente de maracuyá mejora significativamente la eficiencia del tratamiento. El exceso del bioabsorbente no solo deja de ser útil, sino que puede interferir negativamente en el proceso. Por tanto, la dosis óptima se encuentra en la menor proporción: 1.5 g de coagulante y 0.5 g de bioabsorbente, validando así los objetivos del estudio.

**Tabla 6**

*Comparación de valores antes y después del tratamiento*

<b>Concentración de dosis</b>	<b>DQO Inicial (mg/L)</b>	<b>DQO Residual (mg/L)</b>	<b>Remoción(mg/L)</b>
<b>1.5 g de sulfato de aluminio</b>		196	745
<b>0.5 g de bioabsorbente de maracuyá</b>	941	137	804

Valor inicial de DQO: Antes del tratamiento, el agua residual presentaba un valor de 941 mg/L, lo que indica una alta carga orgánica.

Valor final de DQO: Tras la aplicación del tratamiento, la concentración residual llegó a un rango de 137 a 196 mg/L

Reducción: Se logró una reducción de 745 mg/L a 804 mg/L, evidenciando la efectividad del bioabsorbente en combinación con el coagulante químico.

#### **4.2.2. Análisis de la Turbidez**

A continuación, se presenta una tabla con los valores de reducción de Turbidez en función de diferentes concentraciones de bioabsorbente de maracuyá:

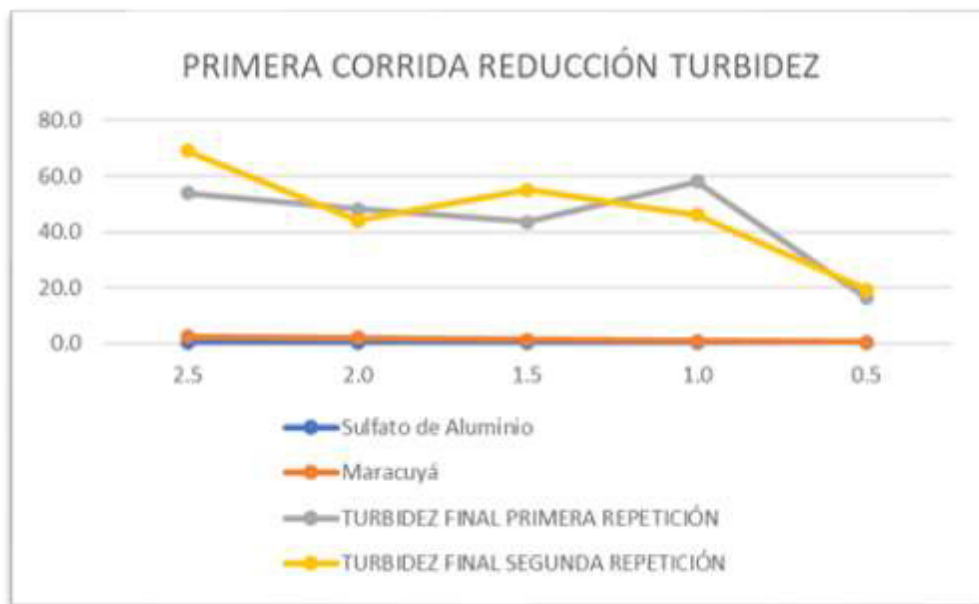
**Tabla 7***Concentración de bioabsorbente y reducción de Turbidez*

Corridas	Concentración		Turbidez final primera repetición (UNT)	Turbidez final segunda repetición (UNT)
	Sulfato de Aluminio (g)	Bioabsorbente Maracuyá (g)		
<b>Primera corrida</b>	0.5	2.5	54.0	69.0
		2.0	48.1	44.1
		1.5	43.6	55.0
		1.0	58.0	46.2
		0.5	16.4	19.2
		2.5	108.0	104.0
<b>Segunda corrida</b>	1.0	2.0	123.0	83.0
		1.5	114.0	33.0
		1.0	20.3	17.7
		0.5	10.0	4.1
		2.5	55.0	59.0
		2.0	42.7	63.0
<b>Tercera corrida</b>	1.5	1.5	47.4	14.3
		1.0	25.9	7.3
		0.5	4.9	6.3

Se observa que el uso del bioabsorbente en combinación con sulfato de aluminio mejora notablemente la reducción de turbidez, con una mayor eficiencia con las cantidades de concentración del bioabsorbente hasta 1.5g de sulfato de aluminio y 0.5g de bioabsorbente de maracuyá.

**Figura 13**

*Concentración de 0.5 gramos de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá*



**- Interpretación:**

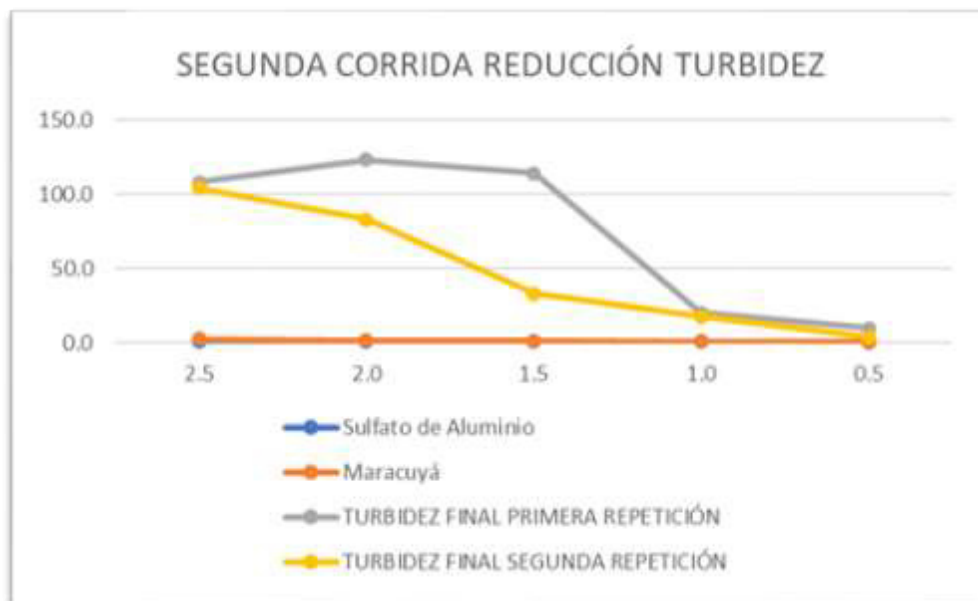
A medida que disminuye la cantidad del bioabsorbente de maracuyá (de 2.5 g a 0.5 g), se observa una reducción significativa en los niveles de turbidez, alcanzando el valor más bajo con 0.5 g de bioabsorbente, lo cual puede parecer contraintuitivo. Esto podría deberse a que concentraciones mayores del bioabsorbente estarían aportando partículas adicionales al sistema o interfiriendo con la coagulación del sulfato de aluminio.

La combinación de 0.5 g de sulfato de aluminio y 0.5 g de bioabsorbente alcanzó la turbidez más baja registrada (concentración residual): 16.4 y 19.2 UNT (promedio de 17.8 UNT). Aunque esta mejora es notable respecto al valor inicial sin tratamiento (172 UNT), aún no cumple con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) Agua, A1 (5 UNT).

Si bien los valores no alcanzan el estándar normativo, la eficiencia del tratamiento en esta corrida es clara, pues logra reducir la turbidez en más del 89%. Este resultado sugiere que se requiere optimizar las dosis o complementar el tratamiento con filtración para cumplir con los ECA.

**Figura 14**

*Concentración de 1.0 gramos de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá*



**- Interpretación:**

Se observa que al mantener constante la concentración de sulfato de aluminio en 1 g y disminuir progresivamente la dosis de bioabsorbente de maracuyá, la turbidez tiende a disminuir de manera significativa, mostrando los mejores resultados con la menor dosis de bioabsorbente (0.5 g).

La combinación de 1 g de sulfato de aluminio con 0.5 g de bioabsorbente logró el menor nivel de turbidez (concentración residual): Primera repetición: 10 UNT, Segunda repetición: 4.1 UNT, Promedio: 7.05 UNT.

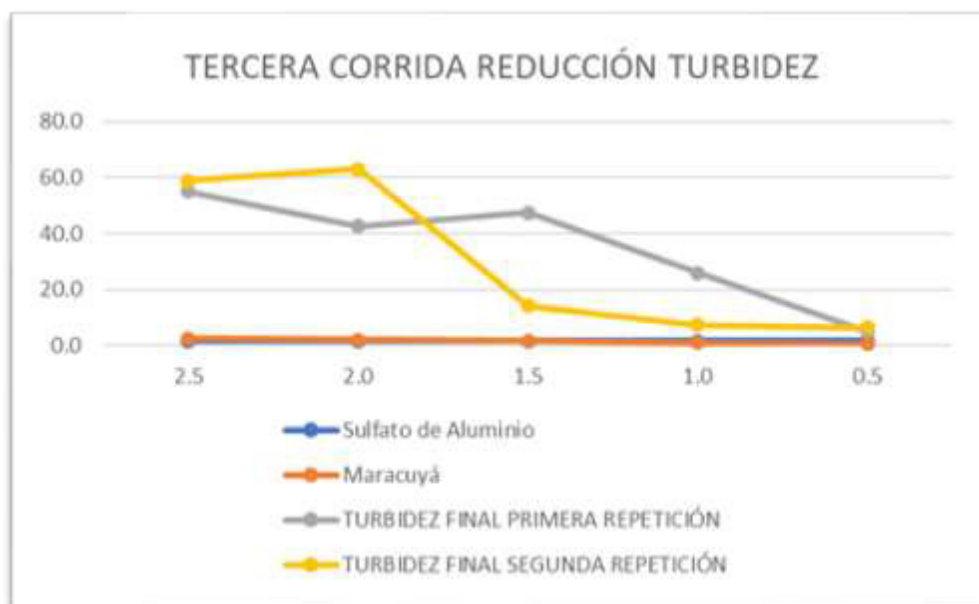
Según el Límite Máximo Permissible para efluentes vertidos en cuerpos de agua naturales (5 UNT), solo la segunda repetición con 4.1 UNT cumple con la normativa, mientras que el promedio general de esta combinación (7.05 UNT) se encuentra cerca pero aún supera ligeramente el límite.

Estos resultados indican que el tratamiento combinado está muy próximo a alcanzar la normativa ambiental, siendo especialmente prometedor el valor de 4.1 UNT. Una ligera

optimización en la dosificación o una etapa de post tratamiento como la filtración, podría garantizar el cumplimiento total del ECA.

### Figura 15

*Concentración de 1.5 gramos de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá*



#### - Interpretación:

A medida que disminuye la concentración del bioabsorbente de maracuyá, se observa una reducción significativa en la turbidez del efluente, siendo más notable cuando se utilizan dosis menores a 1.5 g.

La mezcla de 1.5 g de sulfato de aluminio y 0.5 g de bioabsorbente de maracuyá alcanzó los valores más bajos de turbidez (concentración residual): Primera repetición: 4.9 UNT, Segunda repetición: 6.3 UNT, Promedio: 5.6 UNT.

Según el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) Agua A1, establecido para la turbidez de efluentes vertidos a cuerpos de agua (5 UNT), solo la primera repetición (4.9 UNT) cumple con el estándar, mientras que el promedio (5.6 UNT) supera ligeramente el límite establecido.

Estos resultados confirman que una combinación adecuada de coagulante y bioabsorbente puede reducir la turbidez a niveles muy cercanos e incluso dentro del límite legal.

**Tabla 8***Comparación de valores antes y después del tratamiento*

Concentración de dosis	Turbidez Inicial (UNT)	Turbidez Residual (UNT)	Remoción (UNT)
<b>1.5 g de sulfato de aluminio</b>		6.3	165.7
<b>0.5 g de bioabsorbente de maracuyá</b>	172	4.9	167.1

Valor inicial de turbiedad: Antes del tratamiento, el agua residual presentaba un valor de 172 UNT, lo que indica un alto grado de turbidez.

Valor final de turbiedad: Tras la aplicación del tratamiento, los valores de la concentración residual estuvieron en un rango de 4.9 a 6.3 UNT.

Reducción: Se logró una reducción del 165.7 UNT a 167.1 UNT, evidenciando la efectividad del bioabsorbente en combinación con el coagulante químico.

**Tabla 9***Comparación con estándares normativos*

Parámetro	Unidad	Resultado sin tratamiento	Mejor resultado tratado	LMP/ECA	¿Cumple LMP/ECA?
<b>DQO</b>	mg/L	941	137	200	Sí, después del tratamiento
<b>Turbiedad</b>	UNT	172	4.9	5	Sí, después del tratamiento

*Nota.* El LMP de 200 mg/L para el DQO es correspondiente al DS N° 003-2010-MINAM, y el estándar no mayor a 5 UNT de turbiedad es correspondiente al DS N° 004-2017-MINAM / A1-Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

**- Interpretación:**

En el estado inicial (sin tratamiento), la DQO de 941 mg/L supera ampliamente el LMP de 200 mg/L, evidenciando una alta carga orgánica contaminante. Sin embargo, tras la aplicación combinada de 1.5 g de sulfato de aluminio y 0.5 g de bioabsorbente de maracuyá, la concentración residual fue de 137 mg/L, lo que sí cumple con la normativa y demuestra la eficiencia del tratamiento aplicado.

Para la turbidez, los valores iniciales (172 UNT) superan ampliamente los límites establecidos (5 UNT), sin embargo, tras la aplicación combinada de 1.5 g de sulfato de aluminio y 0.5 g de bioabsorbente de maracuyá, la concentración residual fue de 4.9 UNT, lo que sí cumple con la normativa y demuestra la eficiencia del tratamiento aplicado.

### **4.3. Estimación de las eficiencias obtenidas del tratamiento para la remoción de los parámetros físico – químicos como el DQO y Turbidez**

#### **4.3.1. Eficiencia de remoción para la Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Para determinar la eficiencia del tratamiento, se midieron los valores iniciales y finales de DQO en el agua residual doméstica. Se calculó la eficiencia usando la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{(\text{Valor inicial} - \text{Valor final}) \times 100}{\text{Valor inicial}}$$

#### **- Primera repetición:**

$$\text{Eficiencia DQOR1 (\%)} = \frac{(941 - 196) \times 100}{941}$$

$$\text{Eficiencia DQOR1 (\%)} = 79.17\%$$

En la primera repetición del tratamiento, se obtuvo una eficiencia de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) del 79.17%. Esto indica que, tras la aplicación del tratamiento con sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, la concentración de DQO se redujo significativamente, pasando de 941 mg/L antes del tratamiento a 196 mg/L después del tratamiento.

Este valor refleja una alta capacidad del tratamiento para remover materia orgánica oxidable presente en el agua residual, ya que la DQO es un parámetro que representa la cantidad de compuestos orgánicos susceptibles de ser oxidados químicamente. Una eficiencia cercana al 80% en una primera repetición es un resultado favorable, pues sugiere que el tratamiento tiene potencial para ser optimizado y alcanzar niveles aún más altos de depuración.

- **Segunda repetición:**

$$\text{Eficiencia DQOR}^2 (\%) = \frac{(941 - 137) \times 100}{941}$$

$$\text{Eficiencia DQOR}^2 (\%) = 85.44\%$$

En la segunda repetición del tratamiento, se alcanzó una eficiencia de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) del 85.44%, lo cual representa una mejora significativa respecto a la repetición anterior. La concentración de DQO se redujo de 941 mg/L a 137 mg/L luego de aplicar el tratamiento con sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá.

Este resultado evidencia una mayor eficacia en la eliminación de compuestos orgánicos presentes en el agua residual, lo que podría deberse a una mejor interacción entre el coagulante y el bioabsorbente en esta segunda prueba, o a una optimización en la dosis o condiciones de tratamiento (como el tiempo de reacción o el pH).

Una eficiencia superior al 85% se considera altamente favorable, ya que se aproxima a los niveles exigidos para aguas tratadas de calidad aceptable en descargas. Además, este resultado respalda el potencial del tratamiento combinado como alternativa sostenible y eficaz para la mejora de la calidad del efluente en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

#### ***4.3.2. Eficiencia de remoción para la Turbidez***

Para determinar la eficiencia del tratamiento, se midieron los valores iniciales y finales de DQO en el agua residual doméstica. Se calculó la eficiencia usando la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{(\text{Valor inicial} - \text{Valor final}) \times 100}{\text{Valor inicial}}$$

- **Primera repetición:**

$$\text{Eficiencia TURBIDEZ}^{\text{R1}} (\%) = \frac{(172 - 4.9) \times 100}{172}$$

$$\text{Eficiencia TURBIDEZ}^{\text{R1}} (\%) = 97.15\%$$

En la primera repetición del tratamiento, se logró una eficiencia de remoción de turbidez del 97.15%, al reducirse la turbidez inicial de 172 NTU a tan solo 4.9 NTU. Este resultado indica una remoción altamente efectiva de las partículas en suspensión que provocan la opacidad del agua residual.

La elevada eficiencia evidencia que la combinación de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá posee un alto poder coagulante y floculante, capaz de aglutinar y remover de manera eficiente los sólidos suspendidos y coloides presentes en el agua.

Desde un punto de vista técnico, alcanzar niveles por debajo de 5 NTU está alineado con estándares de calidad que garantizan la transparencia y claridad del efluente tratado, lo cual es un indicador clave de la efectividad del proceso de tratamiento.

- **Segunda repetición:**

$$\text{Eficiencia TURBIDEZ}^{\text{R2}} (\%) = \frac{(172 - 6.3) \times 100}{172}$$

$$\text{Eficiencia TURBIDEZ}^{\text{R2}} (\%) = 96.34\%$$

En la segunda repetición del tratamiento, se obtuvo una eficiencia de remoción de turbidez del 96.34%, al reducirse la turbidez inicial de 172 NTU a 6.3 NTU. Este resultado continúa evidenciando una alta efectividad del proceso de tratamiento implementado, basado en el uso combinado de sulfato de aluminio con bioabsorbente de maracuyá.

Aunque ligeramente menor que en la primera repetición (97.15%), este porcentaje aún se encuentra dentro de un rango excelente de eficiencia, demostrando la consistencia del tratamiento y su capacidad para eliminar una gran proporción de los sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales domésticas.

Desde un enfoque operativo, alcanzar turbideces finales cercanas a 5 NTU asegura un efluente visualmente claro, apto para procesos posteriores como desinfección o reutilización en ciertos usos no potables, y mejora el cumplimiento con los criterios de vertimiento en cuerpos receptores según normativa ambiental.

Este comportamiento confirma que el sistema de tratamiento no solo es eficiente, sino también reproducible y confiable, lo que refuerza su viabilidad técnica para su implementación a mayor escala en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

#### 4.4. Análisis inferencial

##### 4.4.1. Prueba de normalidad

Antes de aplicar procedimientos estadísticos inferenciales en el presente estudio, fue necesario evaluar si los datos recolectados para las variables Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Turbiedad se ajustaban a una distribución normal. Este paso es fundamental, ya que muchos análisis estadísticos paramétricos asumen normalidad en la distribución de los datos.

Para ello, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, la cual es especialmente adecuada cuando el tamaño de muestra es pequeño, es decir, menor a 50 observaciones, como es el caso de esta investigación. En este estudio, se trabajó con un total de 30 litros de aguas residuales domésticas, sometidos a distintos tratamientos con sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, obteniendo datos distribuidos en repeticiones experimentales.

**Tabla 10**

*Valor de significancia de la prueba de normalidad*

Prueba de normalidad			
Shapiro - Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.
Datos remoción DQO	.381	28	.026
Datos remoción Turbidez	.319	28	.042

*Si Sig. < 0.05 rechazamos la Ho y aceptamos la Ha*

*Si Sig. >= 0.05 aceptamos la Ho y rechazamos la Ha*

Ho: Los datos no provienen de una distribución normal

Ha: Los datos provienen de una distribución normal

Decisión: Como Sig. = 0.026 y 0.042 respectivamente y ambos son menores a 0.05 entonces rechazamos la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$ , por lo tanto, los datos, tanto de la remoción del DQO y de la Turbidez, provienen de una distribución normal.

El resultado de esta prueba permitió determinar si los valores obtenidos en los diferentes niveles de concentración y tiempos de contacto siguen una distribución normal, lo que condicionó el tipo de prueba estadística inferencial que se aplicó posteriormente, como fue el estadígrafo paramétrico t de Student. Este análisis es clave para asegurar la validez estadística y científica de los resultados del tratamiento propuesto.

#### 4.4.2. Análisis de regresión

**Tabla 11**

*Regresión múltiple para los datos de DQO*

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.93142862
Coeficiente de determinación $R^2$	0.867559273
$R^2$ ajustado	0.845485819
Error típico	96.81245113
Observaciones	15

De la tabla observamos que existe una asociación múltiple, dado que el coeficiente de correlación múltiple es: 0.93142862, es decir que tiene el 93% de asociación.

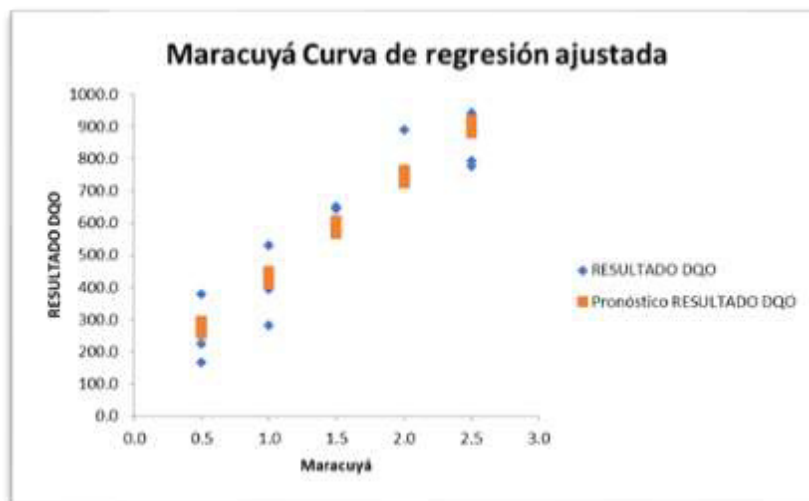
Conclusión: Aceptamos que hay asociación múltiple ya que la correlación múltiple está cerca de 1.

Por otro lado, observamos que el ajuste del modelo es elevado, dado que R-cuadrado ajustado es: 0.845485819, es decir el 85% de predicción.

Conclusión: El coeficiente de determinación reporta una puntuación cercana a 1, por lo que el modelo muestra una predicción alta.

**Figura 16**

*Curva de regresión para datos de bioabsorbente de maracuyá de la variable DQO*



**- Interpretación:**

La figura de la curva de regresión ajustada muestra una clara correspondencia entre los valores experimentales (observados) de la variable DQO y los valores pronosticados por el modelo matemático generado a partir de las concentraciones del bioabsorbente de maracuyá.

La cercanía de los puntos experimentales a la curva de regresión indica que existe un alto grado de ajuste entre el modelo predictivo y los datos reales obtenidos en las pruebas. En otras palabras, el comportamiento de la variable de respuesta puede explicarse con alta precisión a partir de las concentraciones del bioabsorbente empleadas. Este nivel de coincidencia sugiere que:

El modelo de regresión es válido para describir la relación entre la dosis de bioabsorbente y la reducción del contaminante.

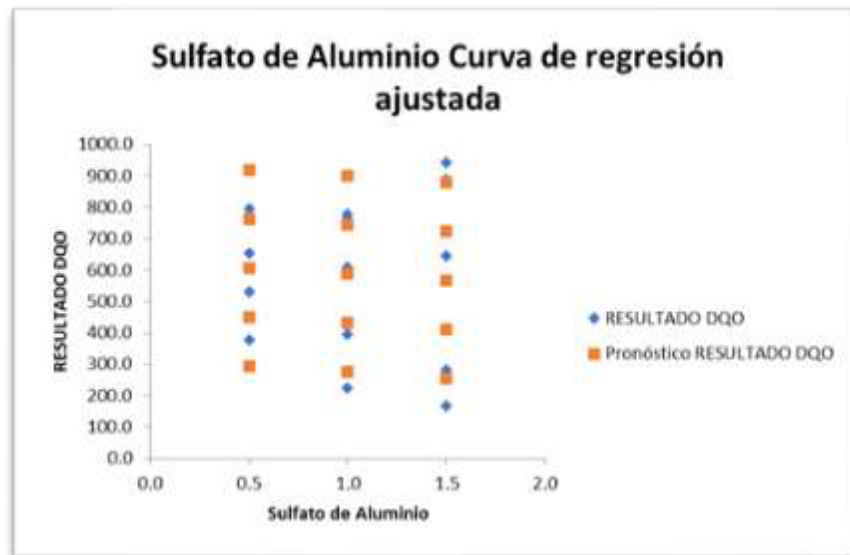
Es posible predecir con confianza los resultados del tratamiento ante distintas concentraciones del bioabsorbente.

El uso del bioabsorbente de maracuyá tiene un efecto consistente y medible sobre los parámetros fisicoquímicos del agua residual.

Finalmente, el gráfico evidencia que el modelo de regresión no solo es estadísticamente representativo, sino también útil como herramienta para optimizar futuras aplicaciones del bioabsorbente en procesos de tratamiento de aguas residuales.

### Figura 17

*Curva de regresión para datos del sulfato de aluminio de la variable DQO*



#### - Interpretación:

El gráfico de la curva de regresión ajustada correspondiente a los datos del sulfato de aluminio revela una alta concordancia entre los valores reales obtenidos en las pruebas experimentales y los valores estimados por el modelo matemático. Esta similitud entre los datos observados y los pronosticados indica que el modelo de regresión se ajusta adecuadamente a la tendencia de los datos. La cercanía de los puntos al trazado de la curva indica:

Una correlación positiva y significativa entre la concentración del sulfato de aluminio y la reducción de los niveles de contaminación como DQO.

El modelo posee una capacidad predictiva confiable, lo cual permite anticipar con precisión el comportamiento del sistema ante diferentes dosis del coagulante.

El comportamiento del sulfato de aluminio como agente coagulante en el tratamiento de aguas residuales es consistente y cuantificable, lo que valida su efectividad.

La figura respalda la utilidad del modelo de regresión como herramienta técnica para predecir y optimizar la aplicación del sulfato de aluminio en procesos de tratamiento, permitiendo así mejorar la eficiencia del sistema y reducir la carga contaminante de los efluentes.

**Tabla 12**

*Coefficientes para ecuación de regresión para la variable DQO*

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
<b>Intercepción</b>	157.4333333	84.76850161	1.85721501	0.087982867
<b>Sulfato de Aluminio</b>	-39.3	61.22957029	-0.6418467	0.533042055
<b>Maracuyá</b>	312.6	35.35090889	8.84277123	1.32943E-06

De la tabla se observa los coeficientes, con los cuales se arma la ecuación de regresión:

$$VD = K + VP1 \cdot p1 + VP2 \cdot p2.$$

Siendo:

VD : Variable dependiente

VP : Valor predictivo

P : Peso predictivo

$$\text{RESULTADO DQO} = 157.43 + \text{SULF ALUM} \cdot (-39.3) + \text{MARAC} \cdot (312.6)$$

**Tabla 13**

*Regresión múltiple para los datos de Turbidez*

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.798708569
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.637935379
R <sup>2</sup> ajustado	0.577591275
Error típico	20.4201594
Observaciones	15

De la tabla observamos que existe una asociación múltiple, dado que el coeficiente de correlación múltiple es: 0.798708569, es decir que tiene el 79% de asociación.

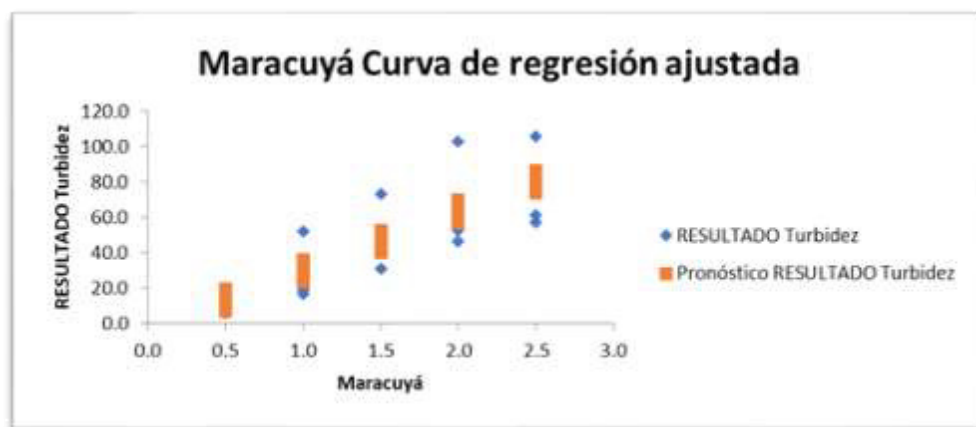
Conclusión: Aceptamos que hay asociación múltiple ya que la correlación múltiple está cerca de 1.

Por otro lado, observamos que el ajuste del modelo es elevado, dado que R-cuadrado ajustado es: 0.577591275, es decir el 57% de predicción.

Conclusión: El coeficiente de determinación reporta una puntuación más cerca de 1, por lo que el modelo muestra una predicción moderadamente alta.

### Figura 18

*Curva de regresión para datos del bioabsorbente de maracuyá de la variable Turbidez*



#### - Interpretación:

La figura de regresión ajustada para la variable turbidez en función del bioabsorbente de maracuyá muestra una notoria similitud entre los valores experimentales y los valores pronosticados por el modelo. Esta correspondencia evidencia que el modelo de regresión logra capturar de forma eficaz la tendencia del comportamiento del bioabsorbente frente a la reducción de la turbidez en las aguas residuales domésticas. Los puntos graficados se alinean estrechamente a la curva, lo cual indica:

Un alto grado de ajuste entre los datos reales y los estimados.

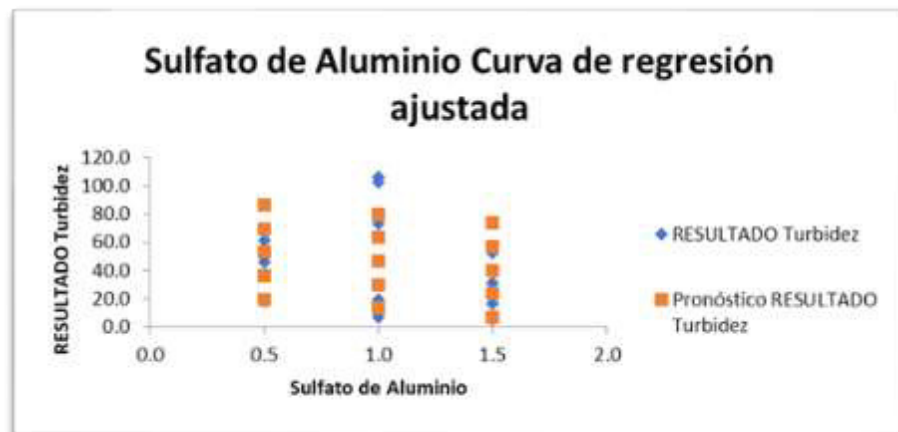
Que el bioabsorbente de maracuyá presenta un comportamiento consistente en la remoción de partículas responsables de la turbidez.

El modelo puede ser empleado como una herramienta confiable para predecir resultados futuros en procesos similares, mejorando la toma de decisiones en el tratamiento de aguas.

Este resultado valida la eficiencia del bioabsorbente natural como componente activo en la clarificación del agua, y respalda su aplicación como alternativa sostenible y efectiva en la mejora de la calidad del efluente tratado.

### Figura 19

*Curva de regresión para datos del sulfato de aluminio de la variable Turbidez*



#### - Interpretación:

La figura de la curva de regresión ajustada para la variable turbidez con relación al sulfato de aluminio demuestra una alta correspondencia entre los valores observados y los valores estimados por el modelo. Esta alineación sugiere que la regresión utilizada logra modelar adecuadamente la dinámica de reducción de turbidez causada por el coagulante químico. La similitud entre los puntos reales y los pronosticados indica:

Que el sulfato de aluminio muestra un comportamiento predecible y estable en la remoción de turbidez.

Que el modelo de regresión es altamente representativo de los datos reales, lo cual lo convierte en una herramienta eficaz para proyecciones futuras.

Que el uso del sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas residuales puede ser optimizada mente dosificado gracias a la precisión del modelo.

Este resultado respalda la eficiencia técnica y predictiva del sulfato de aluminio en la clarificación del agua residual, siendo un insumo confiable para mejorar la calidad del efluente y garantizar el cumplimiento de los estándares ambientales establecidos.

**Tabla 14**

*Coefficientes para ecuación de regresión para la variable Turbidez*

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
<b>Intercepción</b>	9.102666667	17.8797902	0.509103662	0.61991082
<b>Sulfato de Aluminio</b>	-12.773	12.91484278	-0.989017073	0.342178224
<b>Maracuyá</b>	33.48333333	7.456387953	4.490556761	0.000738703

De la tabla se observa los coeficientes, con los cuales se arma la ecuación de regresión:

$$VD = K + VP1 \cdot p1 + VP2 \cdot p2.$$

Siendo:

VD : Variable dependiente

VP : Valor predictivo

P : Peso predictivo

$$\text{RESULTADO TURBIDEZ} = 9.10 + \text{SULF ALUM} \cdot (-12.77) + \text{MARAC} \cdot (33.48)$$

#### **4.4.3. Prueba de hipótesis para la DQO**

##### **- Hipótesis específica 1**

Ho: Los niveles de los parámetros físico químicos no exceden los estándares de calidad ambiental para aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

$$\bar{X}_2 \geq \bar{X}_1$$

Ha: Los niveles de los parámetros físico químicos exceden los estándares de calidad ambiental para aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

$$\bar{X}_2 < \bar{X}_1$$

Se procede a analizar los datos mediante el programa SPSS, cuyo resultado es el siguiente:

**Figura 20**

*Prueba t de parámetros físico químicos*

Prueba de muestras emparejadas									
	Diferencias emparejadas			95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Significación	
	Media	Dev. estándar	Medida de error estándar	Inferior	Superior			P de un factor	P de dos factores
Parámetros físico-químicos pos test - Parámetros físico-químicos pre test	-3.61	-0.48	-.048	-1.1548	-.0493	12.71	28	< .002	< .001

Si p-valor < 0.05 rechazamos la Ho y aceptamos la Ha

Si p-valor >= 0.05 aceptamos la Ho y rechazamos la Ha

Con un valor t de student de 12.71, observamos que el p-valor es < 0.002.

Decisión: Como p-valor  $\approx$  0.002 y es menor al nivel de significancia 0.05 (0.002 < 0.05) entonces rechazamos la Ho y aceptamos la Ha, por lo tanto, existe un exceso de los niveles de los parámetros físico químicos sobre los estándares de calidad ambiental para aguas residuales domésticas.

Conclusión: Los niveles de los parámetros físico químicos exceden los estándares de calidad ambiental para aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

### - Hipótesis específica 2

Ho: La dosis óptima en el tratamiento del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá no permite la reducción de las concentraciones residuales del DQO y turbiedad, en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

$$\bar{X}_2 \geq \bar{X}_1$$

Ha: La dosis óptima en el tratamiento del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá permite la reducción de las concentraciones residuales del DQO y

turbiedad, en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

$$\bar{X}_2 < \bar{X}_1$$

Se procede a analizar los datos mediante el programa SPSS, cuyo resultado es el siguiente:

### Figura 21

#### *Prueba t de concentración residual*

	Prueba de muestras emparejadas						Significación		
	Diferencias emparejadas			95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	P de un factor	P de dos factores
	Media	Desv. estándar	Media de error estándar	Inferior	Superior				
Concentración residual pos test - Concentración residual pre test	3.57	-0.24	.024	-2.5426	.443	10.29	28	< .002	< .000

Si p-valor < 0.05 rechazamos la Ho y aceptamos la Ha

Si p-valor  $\geq$  0.05 aceptamos la Ho y rechazamos la Ha

Con un valor t de student de 10.29, observamos que el p-valor es < 0.002.

Decisión: Como p-valor  $\approx$  0.002 y es menor al nivel de significancia 0.05 (0.002 < 0.05) entonces rechazamos la Ho y aceptamos la Ha, por lo tanto, existe una reducción en la concentración residual de DQO y turbiedad para aguas residuales domésticas.

Conclusión: La dosis óptima en el tratamiento del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá permite la reducción de las concentraciones residuales del DQO y turbiedad, en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

### - Hipótesis específica 3

Ho: La dosis óptima obtenida del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, no permite alcanzar altas eficiencias en la mejora de aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

$$\bar{X}_2 \leq \bar{X}_1$$

Ha: La dosis óptima obtenida del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, permite alcanzar altas eficiencias en la mejora de aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

$$\bar{X}_2 > \bar{X}_1$$

Se procede a analizar los datos mediante el programa SPSS, cuyo resultado es el siguiente:

**Figura 22**

*Prueba t de eficiencia*

Prueba de muestras emparejadas									
	Diferencias emparejadas			95% Intervalo de confianza para la diferencia		t	gl	Significancia	
	Media	Desv. estándar	Medio de error estándar	Inferior	Superior			P de un factor	P de dos factores
Eficiencia pos test - Eficiencia pre test	4,16	0,18	,018	-4,8542	,1859	8,63	28	< ,002	< ,001

Si p-valor < 0.05 rechazamos la Ho y aceptamos la Ha

Si p-valor >= 0.05 aceptamos la Ho y rechazamos la Ha

Con un valor t de student de 8.63, observamos que el p-valor es < 0.002.

Decisión: Como p-valor  $\approx$  0.002 y es menor al nivel de significancia 0.05 (0.002 < 0.05) entonces rechazamos la Ho y aceptamos la Ha, por lo tanto, existe alta eficiencia en la mejora de aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche.

Conclusión: La dosis óptima obtenida del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, permite alcanzar altas eficiencias en la mejora de aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

### - Hipótesis General

Ho: La optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, no permite reducir la cantidad de DQO y turbiedad en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

$$\bar{X}_2 \geq \bar{X}_1$$

Ha: La optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, permite reducir la cantidad de DQO y turbiedad en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

$$\bar{X}_2 < \bar{X}_1$$

Se procede a analizar los datos mediante el programa SPSS, cuyo resultado es el siguiente:

### Figura 23

*Prueba t de optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá*

	Prueba de muestras emparejadas								
	Diferencias emparejadas				95% Intervalo de confianza para la diferencia		Significación		
	Media	Desv. estándar	Medio de error estándar	Inferior	Superior	t	gl	P de un factor	P de dos factores
Optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá pos test - Optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá pre test	7,55	-0,87	-0,087	-6,4875	3,3268	18,71	28	< ,001	< ,000

Si p-valor < 0.05 rechazamos la Ho y aceptamos la Ha

Si p-valor >= 0.05 aceptamos la Ho y rechazamos la Ha

Con un valor t de student de 18.71, observamos que el p-valor es < 0.001.

Decisión: Como p-valor ≈ 0.001 y es menor al nivel de significancia 0.05 (0.001 < 0.05) entonces rechazamos la Ho y aceptamos la Ha, por lo tanto, existe una reducción de la cantidad de DQO y turbiedad en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche.

Conclusión: La optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, permite reducir la cantidad de DQO y turbiedad en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El resultado obtenido en la presente investigación para el objetivo general evidenció que la optimización del tratamiento se logró en la tercera corrida experimental, al aplicar 1.5 gramos de sulfato de aluminio y 0.5 gramos de bioabsorbente de maracuyá en 800 ml de muestra. Este hallazgo es altamente significativo, ya que se logra una alta eficiencia en la remoción de DQO y turbidez, consolidando esta combinación como una alternativa eficaz para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Teóricamente, esto coincide con los planteamientos de Tchobanoglous et al. (2003), quienes indican que la optimización de procesos de coagulación-floculación depende en gran medida de la dosificación adecuada del coagulante y coadyuvante, así como de las condiciones fisicoquímicas del agua residual. Asimismo, Zhang et al. (2020) reportaron resultados similares utilizando bioabsorbentes naturales combinados con coagulantes químicos, destacando la necesidad de establecer dosis óptimas para maximizar la eficiencia sin generar costos innecesarios o subproductos residuales.

La investigación de Mendoza et al. (2022) sobre la aplicación de cáscara de maracuyá como bioabsorbente en aguas residuales industriales corrobora los resultados planteados, ya que concluye, que este material presenta una alta capacidad de adsorción de materia orgánica, siempre que se combine con un coagulante como el sulfato de aluminio, lo cual refuerza la validez de los resultados obtenidos en la presente investigación.

Por otro lado, para el objetivo específico 1, los niveles iniciales de los parámetros caracterizados fueron significativamente altos: DQO = 941 mg/L, turbidez = 172 UNT, sólidos suspendidos = 855 mL/L, salinidad = 3.3 mg/L, pH = 7.54 y conductividad eléctrica = 1705  $\mu$ S/cm. Estos valores reflejan una carga contaminante elevada, lo cual es típico en aguas residuales domésticas que aún no han recibido ningún tratamiento.

Según los LMP propuestos por el MINAM, aguas residuales con una DQO mayor a 200 mg/L requieren intervención urgente, ya que comprometen significativamente la calidad del agua receptora si son descargadas sin tratamiento. Asimismo, el valor de turbidez detectado (172 UNT) sobrepasa por mucho los límites permisibles según los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA) y directrices internacionales como las de la EPA (Environmental Protection Agency), que recomiendan una turbidez menor a 5 UNT en aguas tratadas.

Díaz et al. (2023), evaluó la calidad de aguas residuales en una PTAR de Trujillo, y encontraron valores de DQO superiores a 900 mg/L, coincidiendo con la situación registrada en la PTAR María Reiche, lo cual evidencia que los sistemas de tratamiento primarios pueden resultar insuficientes frente a la carga orgánica de ciertas áreas urbanas.

Seguidamente para el objetivo específico 2, la investigación halló que la dosis óptima corresponde a 1.5 g de sulfato de aluminio + 0.5 g de bioabsorbente de maracuyá, permitió una concentración residual de DQO entre 137–196 mg/L, y de turbidez en 4.9 a 6.3 UNT. Esto representa una disminución sustancial de los contaminantes más relevantes, lo que confirma la efectividad de la combinación propuesta.

Este resultado es concordante con lo reportado por Li et al. (2023), quienes lograron una reducción de DQO superior al 80% utilizando coagulantes tradicionales en combinación con bioabsorbentes orgánicos. También guarda relación con el estudio de Flores y Paredes (2023), quienes utilizaron cáscaras de frutas tropicales como coadyuvantes en la remoción de turbidez, reportando valores finales inferiores a 10 UNT, lo que se considera un estándar óptimo en efluentes tratados.

Desde la teoría, Kumar et al. (2021) señalan que los procesos de coagulación/floculación dependen tanto del tipo de contaminante como de la interacción química entre el coagulante y las sustancias orgánicas presentes. La reducción significativa de

DQO en esta investigación demuestra que la mezcla de sulfato de aluminio con maracuyá genera un proceso sinérgico de adsorción y precipitación que mejora la eficiencia del tratamiento.

Finalmente, para el objetivo específico 3, en la segunda repetición, se obtuvo una eficiencia de remoción de DQO del 85.44%, mientras que, en la primera repetición, la remoción de turbidez alcanzó el 97.15%. Estos resultados son altamente favorables y se alinean con las metas de tratamientos terciarios avanzados.

Desde la perspectiva teórica, Anders & Korn (2019) explican que una eficiencia superior al 85% en la remoción de DQO representa una clara optimización del proceso de coagulación-floculación, siendo ideal para reutilización o descarga regulada. De igual forma, una eficiencia de turbidez superior al 95% garantiza un efluente visualmente claro, libre de sólidos suspendidos y coloides, lo cual facilita su posterior tratamiento o vertimiento.

El estudio de Singh et al. (2020) logró una remoción de DQO del 82% usando cáscara de naranja y sulfato férrico, lo cual reafirma el potencial de los bioabsorbentes naturales combinados con coagulantes tradicionales. La presente investigación supera este resultado, lo cual demuestra la eficacia particular del bioabsorbente de maracuyá.

Por lo tanto, los resultados obtenidos en la investigación respaldan fuertemente la efectividad del uso combinado de sulfato de aluminio y bioabsorbente de maracuyá para el tratamiento de aguas residuales domésticas. La reducción significativa de DQO y turbidez, junto con la alta eficiencia registrada, permite considerar esta combinación como una solución ecológica, eficiente y económicamente viable en el contexto de las PTAR urbanas.

Asimismo, la coherencia entre los hallazgos del presente estudio, los antecedentes revisados y la literatura científica, otorgan validez externa a la propuesta y fortalecen su aplicabilidad a escenarios similares en el país.

## VI. CONCLUSIONES

6.1. Se concluye que las aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche presentan valores elevados de contaminación en sus parámetros fisicoquímicos, por ende, superan los LMP: DQO (941 mg/L), turbidez (172 UNT), sólidos suspendidos (855 mL/L) y conductividad eléctrica (1705  $\mu$ S/cm), lo que refleja una fuerte carga orgánica y presencia de sólidos. Estos resultados confirman la necesidad de aplicar tecnologías de tratamiento que permitan reducir significativamente dichos parámetros para cumplir con los límites permisibles de vertimiento, dictados por el MINAM.

6.2. Se concluye que la dosis óptima determinada fue de 1.5 gramos de sulfato de aluminio y 0.5 gramos de bioabsorbente de maracuyá, logrando una concentración residual significativa en la DQO (de 941 mg/L a valores entre 137 y 196 mg/L) y en la turbidez (de 172 UNT a rangos entre 4.9 y 6.3 UNT). Esta combinación muestra un alto potencial de reducción, superando el desempeño de tratamientos tradicionales, al aprovechar las propiedades coagulantes del sulfato y la capacidad de adsorción del bioabsorbente de maracuyá.

6.3. Se concluye que el tratamiento combinado alcanzó una eficiencia del 85.44% en la remoción de DQO y del 97.15% en la remoción de turbidez, lo cual evidencia un rendimiento altamente favorable. Estas eficiencias reflejan que el proceso de coagulación floculación asistido por bioadsorción puede ser una solución tecnológica viable y efectiva, orientada a mejorar la calidad del efluente en plantas de tratamiento, reduciendo el impacto ambiental y acercándose a los estándares requeridos para el re uso o descarga de aguas tratadas.

6.4. Finalmente, se concluye que la optimización del tratamiento combinado se alcanzó en la tercera corrida experimental, utilizando una dosis de 1.5 gramos de sulfato de aluminio y 0.5 gramos de bioabsorbente de maracuyá para 1000 ml de agua residual. Esta combinación permitió lograr los mejores resultados de reducción en los niveles de DQO y turbiedad,

demostrando que el uso conjunto de un coagulante químico y un bioabsorbente natural puede ser eficaz y sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

## VII. RECOMENDACIONES

7.1. Se recomienda aplicar el tratamiento con sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá en una planta piloto dentro de la PTAR María Reiche, para evaluar su eficiencia en condiciones reales y facilitar su escalado. Esta fase permitirá afinar parámetros como tiempo de reacción, agitación, y sedimentación, asegurando una futura aplicación a mayor escala con resultados sostenibles, controlados y que aminoren costos.

7.2. Se sugiere al Ministerio del Ambiente considerar la inclusión expresa del parámetro de turbidez dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) aplicables a aguas residuales domésticas, en concordancia con los estándares internacionales que reconocen la turbidez como un indicador clave de la eficacia del tratamiento de aguas. Esta incorporación permitiría fortalecer el marco regulador ambiental del país, promoviendo una evaluación más integral de la calidad del efluente tratado y facilitando el control de partículas suspendidas que pueden afectar los ecosistemas acuáticos y la salud pública.

7.3. Se sugiere incentivar la investigación y aplicación de bioabsorbentes de origen orgánico como el de maracuyá, debido a su efectividad, bajo costo, y facilidad de obtención. Esta práctica representa una alternativa ecológica frente a tecnologías convencionales, reduciendo el impacto ambiental y fomentando la economía circular mediante el aprovechamiento de residuos agrícolas.

7.4. Es recomendable diseñar e implementar un sistema de monitoreo continuo que permita verificar el cumplimiento de los valores permisibles de parámetros como DQO, turbidez, sólidos y conductividad, tanto antes como después del tratamiento. Esto garantizará la eficacia sostenida del proceso y permitirá tomar decisiones técnicas oportunas en caso de desviaciones.

## VIII. REFERENCIAS

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA]. (2020). *Gestión de Aguas Residuales*. <https://www.epa.gov/water-research/wastewater-management>
- Ahalya, N., Ramachandra, T. V., & Kanamadi, R. D. (2003). *Biosorption of heavy metals*. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 7(4), 71–79.
- American Public Health Association [APHA]. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.)*. American Public Health Association. <https://xpdf4u.com/reviews/sA03C6/995416/4991876-apha-standard-methods-for-the-examination-of-water-and-wastewater>
- American Water Works Association [AWWA]. (2017). *Calidad y Tratamiento del Agua: Manual de Suministros Comunitarios de Agua*. (6ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Anders, A., & Korn, B. (2019). *Predicción de la dosis óptima de sulfato de aluminio para la mejora del tratamiento de aguas residuales en plantas urbanas*. [Tesis de pregrado]. Universidad de Estocolmo.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2018). *Guía técnica para reúso municipal de aguas residuales tratadas en el riego de áreas verdes de Lima Metropolitana*. <https://repositorio.midagri.gob.pe/handle/20.500.13036/703>
- Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. (6 de junio de 2017). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Decreto Supremo N.º 031-2010-SA. Aprueba el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. (26 de setiembre de 2010). <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
- Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM. Aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. (16

de marzo de 2010). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-imp-efluentes-plantas-tratamiento-aguas>

- Díaz et al. (2023). *Uso de bioabsorbentes combinados con sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. *Agroindustrial Science*, 13(2), 45–58.
- García, A., Pérez, R., & Torres, M. (2021). Eficiencia de los bioabsorbentes naturales en el tratamiento de aguas residuales domésticas combinados con coagulantes. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 15(2), 34–48.
- García, J. & Martínez, R. (2018). *Tratamiento de aguas residuales: Principios y aplicaciones*. Reverte.
- Gómez, E. (2015). *Fundamentos de ingeniería sanitaria*. McGraw-Hill.
- Gómez-Aguilar, D. L., Rodríguez-Miranda, J. P., & Salcedo-Parra, O. J. (2022). Fruit peels as a sustainable waste for the biosorption of heavy metals in wastewater: A review. *Molecules*, 27(7), 2124. <https://doi.org/10.3390/molecules27072124>
- González, M., Peña, M., & Álvarez, P. (2020). Uso de bioabsorbentes naturales para la eliminación de contaminantes en aguas residuales. *Journal of Environmental Management*, 254, 109740.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Instituto Nacional de Calidad [INACAL]. (2018). *Norma técnica peruana NTP 339.041: Aguas residuales - Terminología*.
- Kavanaugh, M. C., & Trussell, R. R. (2018). *Tratamiento de aguas residuales*. McGraw-Hill Education.
- Kumar, A., Sharma, K., & Patel, R. (2021). Remoción de contaminantes orgánicos de aguas residuales mediante el uso de bioabsorbentes de origen vegetal y coagulantes. *Journal of Water Treatment*, 18(3), 120–135.

- Li et al. (2023). *Optimización de compuestos orgánicos y coagulantes en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. [Tesis de pregrado]. Universidad de Beijing
- Mays, L. W. (2011). *Ingeniería de recursos hídricos*. John Wiley & Sons.
- Mendoza, G., Pérez, B., & Quispe, R. (2022). Evaluación de la eficiencia del bioabsorbente en la remoción de contaminantes de aguas residuales domésticas. *Revista de Ciencias Agrarias*, 14(2), 55–68.
- Metcalf & Eddy. (2014). *Tratamiento de aguas residuales*. (5.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2021). *Informe Nacional sobre la Calidad de las Aguas Residuales en el Perú*.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2023). *Informe de Evaluación de la Política Nacional del Ambiente: Ministerio del Ambiente Correspondiente al año 2023*.  
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/informe-evaluacion-politica-nacional-ambiente-correspondiente-ano>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2022). *Informe Mundial sobre el Desarrollo del Agua: Aguas Residuales - Un Recurso Inexplorado*.  
<https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2023). *Rome Water Dialogue 2023 seeks solutions and synergies and brings practical contributions*. <https://www.fao.org/newsroom/detail/rome-water-dialogue-2023-seeks-solutions-and-synergies-and-brings-practical-contributions/en>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2019). *Directrices sobre Saneamiento y Salud*.  
<https://www.who.int/publications/i/item/guidelines-on-sanitation-and-health>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2022). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda*.

<https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/69c17edd-ee26-425b-9d34-33799377e886/content>

Pérez, R., Gómez, R., & Torres, J. (2019). Uso de bioabsorbentes naturales para la remoción de contaminantes orgánicos en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Anales Científicos*, 80(2), 45–59.

Resolución Jefatural N.º 151-2020-ANA. Aprobar el documento denominado "Glosario de Términos de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento aprobado mediante Decreto Supremo N° 001-2010-AG", que en Anexo forma parte integrante de la presente Resolución. (1 de octubre de 2020).  
<https://www.gob.pe/institucion/ana/normas-legales/1305244-rj-151-2020-ana>

Sánchez, A., Martínez, R., & López, J. (2019). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el tratamiento de aguas residuales*. Ingeniería y Ciencia, 15(2), 55–64.

Singh, A., et al. (2020). *Uso de coagulantes naturales y químicos para el tratamiento de aguas residuales en áreas rurales*. [Tesis de pregrado]. Universidad de Pune.

Taras, M. J., Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., & Trussell, R. R. (1985). *Métodos estándar para el examen de aguas y aguas residuales*. (16.ª ed.). Asociación Americana de Salud Pública.

Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Levin, D. (2014). *Tratamiento de Aguas Residuales*. (5ª ed.). McGraw-Hill.

Torres, R. (2020). Evaluación de la combinación de sulfato de aluminio y bioabsorbentes en la reducción de la turbidez de aguas residuales en plantas urbanas. *Revista Agros*, 12(2), 45–58.

United Nations Environment Programme [UNEP]. (2020). *Informe sobre calidad del agua y contaminación*. <https://www.unep.org/resources/report/quality-water-and-pollution>

Water Environment Federation [WEF]. (2017). *Manual de operación para el tratamiento de aguas residuales*. WEF Press.

Zhang, Y., Liu, C., & Chen, Y. (2020). Adsorción de metales pesados del agua usando bioadsorbente basado en cáscara de maracuyá. *Journal of Environmental Management*, 255, 109876.

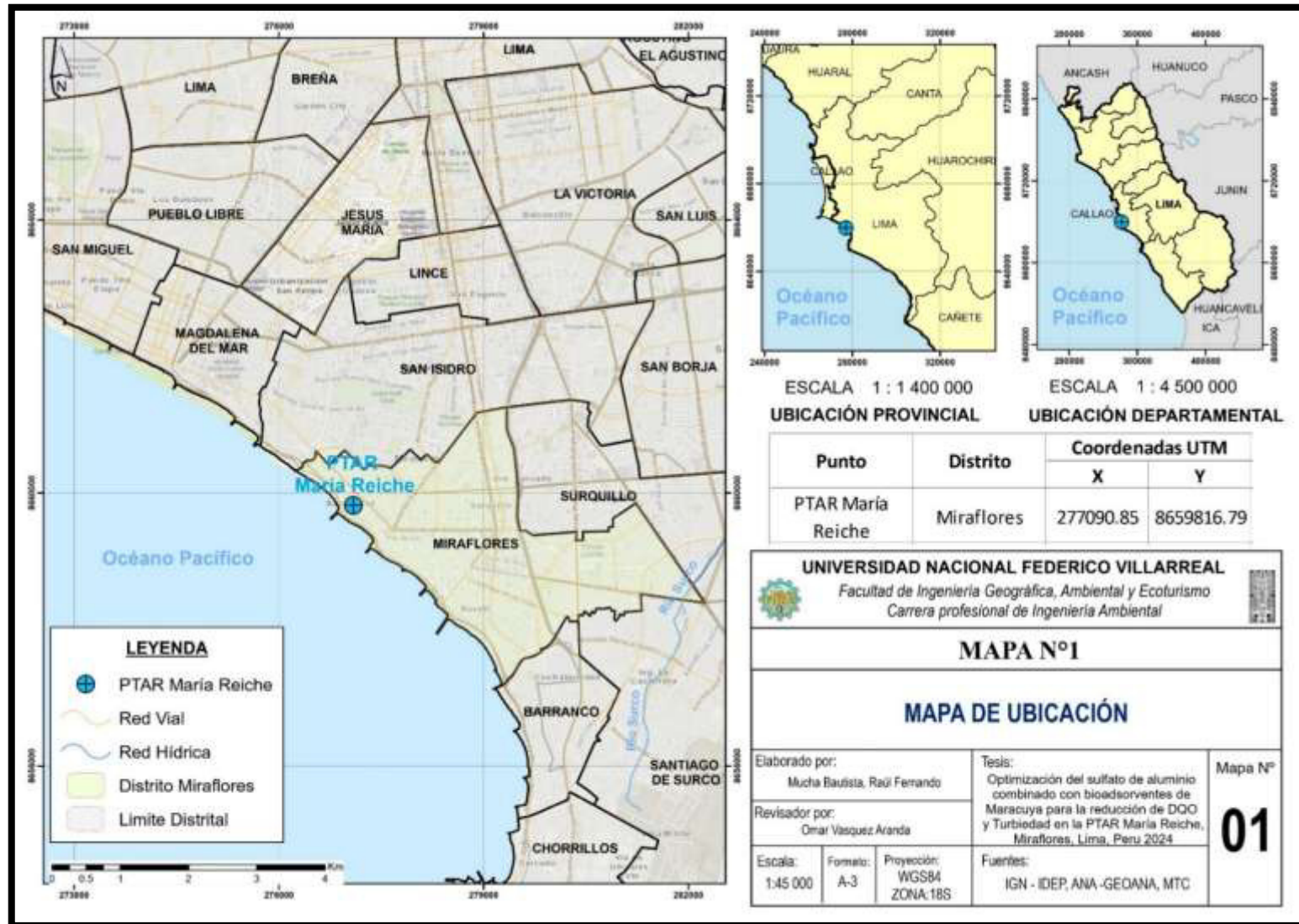
## IX. ANEXOS

## - Anexo A: Matriz de consistencia


PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p><b>General:</b> ¿Cómo la optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, permitirá reducir la cantidad de DQO y turbiedad en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024?</p> <p><b>Específicos:</b> ¿Cómo son los niveles de los parámetros físico químicos en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024?</p> <p>¿Cuáles son las dosis óptimas y las concentraciones residuales del DQO y turbiedad en el tratamiento del sulfato de</p>	<p><b>General:</b> Optimizar el sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, para reducir la cantidad de DQO y turbiedad en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.</p> <p><b>Específicos:</b> Caracterizar los niveles de los parámetros físico químicos en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.</p> <p>Determinar las dosis óptimas y las concentraciones residuales del DQO y turbiedad en el tratamiento del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, en aguas residuales</p>	<p><b>General:</b> La optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, permitirá reducir la cantidad de DQO y turbiedad en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.</p> <p><b>Específicas:</b> Los niveles de los parámetros físico químicos exceden los estándares de calidad ambiental para aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.</p> <p>La dosis óptima en el tratamiento del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá permite la reducción de las concentraciones residuales</p>	<p><b>Variable independiente:</b> Optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá</p> <p><b>Dimensiones:</b> a) Dosificación b) Variable de operación</p> <p><b>Variable dependiente:</b> Remoción de DQO y turbiedad en aguas residuales</p> <p><b>Dimensiones:</b> a) Características físico químicos b) Eficiencia del tratamiento</p>	<p><b>Método general:</b> Científico</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada y Cuantitativa</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Descriptivo</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> Experimental puro</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>GE: O<sub>1</sub> - X - O<sub>2</sub></p> </div> <p>Donde:  <b>GE</b> = Muestra de 30 litros  <b>O<sub>1</sub></b> = Observación antes de la Optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá  <b>O<sub>2</sub></b> = Observación después de la Optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá  <b>X</b> = Optimización del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá</p> <p><b>Población:</b></p>

<p>aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024?</p> <p>¿Cuál es la eficiencia del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá para la remoción de los parámetros físico químicos en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024?</p>	<p>domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024. Estimar las eficiencias obtenidas del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, para la remoción de los parámetros físico químicos en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.</p>	<p>del DQO y turbiedad, en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.</p> <p>La dosis óptima obtenida del sulfato de aluminio combinado con bioabsorbente de maracuyá, permitirá alcanzar altas eficiencias en la mejora de aguas residuales domésticas de la PTAR María Reiche en el distrito de Miraflores, Lima 2024.</p>		<p>Aguas residuales domésticas tratadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) María Reiche, ubicada en el distrito de Miraflores, Lima.</p> <p><b>Muestra:</b> 30 litros de muestras representativas de aguas residuales domésticas tomadas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) María Reiche.</p> <p><b>Técnica:</b> Observación científica</p> <p><b>Instrumento:</b> Ficha de recolección de datos de campo y laboratorio. Cadena de custodia. Ficha de observación.</p> <p><b>Procesamiento de datos:</b> Descriptivo e inferencial</p>
---	--	--	--	--

- Anexo B: Mapa de ubicación



- Anexo C: Fichas técnicas

							
	<b>FORMATO FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO</b>						
<b>VERSIÓN: 01</b>							
<b>PÁGINAS: 1 DE 1</b>							
<b>ESTACION</b>	<b>EQUIPO</b>						
	<b>Multiparámetro</b>	<b>Potenciómetro</b>	<b>Conductímetro</b>	<b>Turbidímetro</b>			
<b>ANALISIS 2</b>	<b>PARAMETROS FISICOQUIMICOS</b>						
<b>MONITOREOS</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Conductividad</b>	<b>DQO</b>			
	<b>0 -14</b>	<b>°C</b>	<b>uS/cm</b>	<b>mg/L</b>			
<b>Monitoreo 1</b>							




**VERSIÓN: 01**

**PÁGINAS: 1 DE 1**

FECHA DE ANALISIS	METODO: JAR TEST			
	Nº DE JARRAS	Nº DE PRUEBAS	Nº DE REPETICIONES	MUESTRAS TOTALES

PRUEBA DE JARRAS (BIOADSORBENTE E HIDROXIDO DE CALCIO)							
	Concentración de Metales	Dosis de Oxidante/Neutralizante	Velocidad	Tiempo	Volumen	Modo Lento/Rápido	Tiempo de sedimentación
	mg/L	ml	RMP	Minutos	Litros	RPM	Minutos/Horas
<b>Jarra 1</b>							
<b>Jarra 2</b>							
<b>Jarra 3</b>							
<b>Jarra 4</b>							
<b>Jarra 5</b>							

		<b>PROTOCOLO PARA TOMA MUESTRAS</b>			
		<b>ETIQUETA PARA MUESTRAS DE CAMPO</b>			
		CODIGO LAB:		VERSIÓN: 001 – 2024	
CODIGO CAMPO:		FECHA:		HORA:	
LUGAR:		PRESERVADA:	SI		
PARÁMETRO:			NO		
DEPARTAMENTO Y DISTRITO:					
MATRIZ:					
RESPONSABLE:					
SOLICITANTE:					
DIRECCION:					



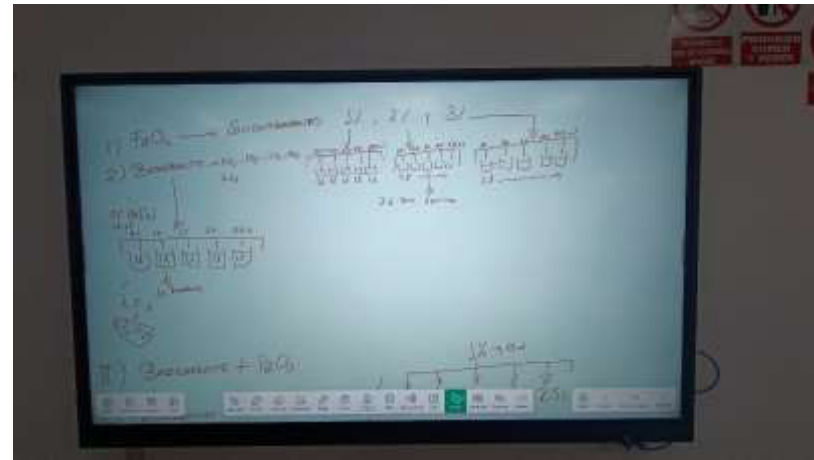
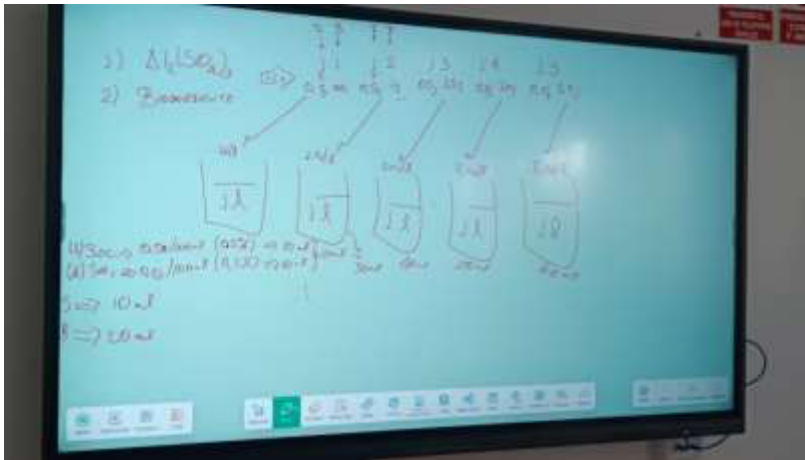
- **Anexo D: Estándares de Turbidez según la EPA**

<b>Aplicación</b>	<b>Límite de Turbidez</b>	<b>Referencia</b>
<b>Sistemas de Agua Potable (con filtración convencional o directa)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Máximo de 1.0 NTU en cualquier momento&lt;br&gt;- 0.3 NTU como máximo en el 95% de las mediciones mensuales</li> </ul>	Surface Water Treatment Rule Turbidity Guidance Manual
<b>Sistemas de Agua Potable (con otras técnicas de filtración)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No exceder los 5 NTU en ningún momento</li> </ul>	Surface Water Treatment Rule Turbidity Guidance Manual
<b>Sitios de Construcción (desagüe de aguas)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Umbral de referencia de 50 NTU para monitoreo de turbidez en actividades de desagüe</li> </ul>	Turbidity Benchmark Monitoring under the Construction General Permit
<b>Sitios de Construcción (descargas de aguas pluviales)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Límite numérico de 280 NTU para descargas de aguas pluviales en sitios de construcción de 10 acres o más</li> </ul>	EPA Includes Numeric Turbidity Limit in Construction Effluent Limitations Guidelines

*Nota.* La EPA no establece límites específicos de turbidez para efluentes de aguas residuales domésticas en general. Sin embargo, los estados individuales pueden tener sus propios estándares de calidad del agua que incluyen límites de turbidez para descargas de aguas residuales.

- Anexo E: Panel Fotográfico

- Procedimiento N° 1



- Procedimiento N° 2



- Procedimiento N° 3



- Procedimiento N° 4

