



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

OPTIMIZACIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO PARA LA REMOCIÓN DE LA  
DQO Y DBO EN AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA PTAR MARIA REICH,  
MIRAFLORES, 2022

**Línea de investigación:**

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

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental

**Autora:**

Huamán Guzmán, Diana Geraldine

**Asesor:**

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

(ORCID: 0000-0002-2873-6752)

**Jurado:**

Mendoza García, José Tomas

Aylas Humareda, María Del Carmen

Gonzales Alarcón Angelino Oscar

**Lima - Perú**

**2023**



## REPORTE DE ANÁLISIS DE SIMILITUD

Archivo:	1A - HUAMAN GUZMAN DIANA GERALDINE - TITULO PROFESIONAL - 2022
Fecha del análisis:	12/12/2022
Operador del programa informático:	Gamarra Jiménez, David Milton
Correo del operador del Programa informático:	dgamarra@unfv.edu.pe
Porcentaje:	29 %
Título	<b>OPTIMIZACIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO PARA LA REMOCIÓN DE LA DQO Y DBO EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA PTAR MARÍA REICH, MIRAFLORES, 2022</b>
Asesor:	Vásquez Aranda, Ahuber Omar
Enlace:	<a href="https://secure.arkund.com/old/view/146233943-549332-403328#HdJNThtBFEXhvXjcity3/tlKxCBCScQgTBhG2Xu+h/Bzd1cdGzin/j7+fD5evj+v+7q9PWvqNqaZboaZZpltznVDCv+6Qm/oDb2hN/SG3tAbajvQQFP30EADDTTQQA011aAN2qCtnqEN2qAN2qANarIDO7RDO7TXGrRDO7RDO9TSgA7ogA7ogI5ahw7ogA6oxwmd0Amd0Amd0FI70AmdULcLuqALuqALuqALumofuqAuG7qhG7qhG7qhG7qhuxhovaAHeqAHeqAHeqAHeqDnXLIYzbPmNvXYTDfDTLPMNmCIXrnrCmU6Flab+E/iT4zfrU/qWww/uodpFW3qVptoE23S6tmWNtEm2kSbaFOf0CbaRJtok15rUG2iTbSJNg5Btlk20SbaRJuMWodqE22ijbMSbaJNtlk20SbaZNYeVJto40hFm2gTbaJNtlk20Sar9qHaOHnRjtpEm2gTbaJNtlk22cVA6wXVJtpEm2gTbaJNtlk20aZdVLVnzW3qsZthpllmG6BtXdPd1xiok2X5jA2bcjmmmqmieaZZpb7xTHFDBPML73skssteMilldaWSWVU0oZJZTPe bFJJpdUMkkkjzSySOK6KGSQQP7oY4887qhjbl+80cYaaZxRxhhhfNHI53lxRRVTRPFEE0sknfN6PT7ff3+8/3p/+Hx9vPx8vxG9h7P4az0vU6b//4D">https://secure.arkund.com/old/view/146233943-549332-403328#HdJNThtBFEXhvXjcity3/tlKxCBCScQgTBhG2Xu+h/Bzd1cdGzin/j7+fD5evj+v+7q9PWvqNqaZboaZZpltznVDCv+6Qm/oDb2hN/SG3tAbajvQQFP30EADDTTQQA011aAN2qCtnqEN2qAN2qANarIDO7RDO7TXGrRDO7RDO9TSgA7ogA7ogI5ahw7ogA6oxwmd0Amd0Amd0FI70AmdULcLuqALuqALuqALumofuqAuG7qhG7qhG7qhG7qhuxhovaAHeqAHeqAHeqAHeqDnXLIYzbPmNvXYTDfDTLPMNmCIXrnrCmU6Flab+E/iT4zfrU/qWww/uodpFW3qVptoE23S6tmWNtEm2kSbaFOf0CbaRJtok15rUG2iTbSJNg5Btlk20SbaRJuMWodqE22ijbMSbaJNtlk20SbaZNYeVJto40hFm2gTbaJNtlk20Sar9qHaOHnRjtpEm2gTbaJNtlk22cVA6wXVJtpEm2gTbaJNtlk20aZdVLVnzW3qsZthpllmG6BtXdPd1xiok2X5jA2bcjmmmqmieaZZpb7xTHFDBPML73skssteMilldaWSWVU0oZJZTPe bFJJpdUMkkkjzSySOK6KGSQQP7oY4887qhjbl+80cYaaZxRxhhhfNHI53lxRRVTRPFEE0sknfN6PT7ff3+8/3p/+Hx9vPx8vxG9h7P4az0vU6b//4D</a>

  
*Mg. Jhoana Juliana Rivera Murillo*  
**Mg. Jhoana Juliana Rivera Murillo**

Jefa de la Oficina de Grados y Gestión del Egresado



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

OPTIMIZACIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO PARA LA REMOCIÓN  
DE LA DQO Y DBO EN AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA  
PTAR MARIA REICH, MIRAFLORES, 2022.

**Línea de investigación:**

Tecnología para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar título de Ingeniera Ambiental

**Autor(a):**

Huamán Guzmán, Diana Geraldine

**Asesor:**

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

**Jurado:**

Mendoza García, José Tomas  
Aylas Humareda, María Del Carmen  
Gonzales Alarcón Angelino Oscar

Lima – Perú  
2023

## ÍNDICE

<b>OPTIMIZACIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO PARA LA REMOCIÓN DE LA DQO Y DBO EN AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA PTAR MARIA REICH, MIRAFLORES, 2022.</b> .....	<b>0</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>7</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>8</b>
1.1 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	9
1.1.1 <i>Descripción del problema</i> .....	9
1.1.2 <i>Formulación del Problema</i> .....	11
1.2 ANTECEDENTES.....	11
1.2.1 <i>Antecedentes Internacionales</i> .....	11
1.2.2 <i>Antecedentes Nacionales</i> .....	15
1.3 OBJETIVOS .....	19
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	19
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	19
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	20
1.5 HIPÓTESIS .....	21
1.5.1 <i>Hipótesis general</i> .....	21
1.5.2 <i>Hipótesis específicas</i> .....	21
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
2.1 MARCO TEÓRICO .....	22
2.1.1 <i>Calidad de agua</i> .....	22
2.1.2 <i>Agua Residual</i> .....	23
2.1.3 <i>Agua Residual Doméstica</i> .....	24
2.1.4 <i>Características de las Aguas Residuales Domésticas</i> .....	26
2.1.5 <i>Tratamiento de Aguas Residuales</i> .....	30
2.1.6 <i>Tratamiento Físicoquímico</i> .....	32
2.1.7 <i>Proceso de Coagulación y Flocculación</i> .....	33
2.1.8 <i>Coagulación</i> .....	34
2.1.9 <i>Tipos de Coagulación</i> .....	35
2.1.10 <i>Sulfato de Aluminio</i> .....	37
2.1.11 <i>Ensayos de Jarras</i> .....	39
2.2 MARCO CONCEPTUAL .....	41
2.2.1 <i>Definición de términos</i> .....	41
2.3 MARCO LEGAL AMBIENTAL.....	43
<b>III. MÉTODO</b> .....	<b>48</b>
3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	48
3.2 ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL .....	48
3.2.1 <i>Ámbito temporal</i> .....	48
3.2.2 <i>Ámbito espacial</i> .....	48
3.3 VARIABLES .....	49
3.3.1 <i>Variable Independiente</i> .....	49

3.3.2	<i>Variable Dependiente</i> .....	49
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	52
3.4.1	<i>Población</i> .....	52
3.4.2	<i>Muestra</i> .....	52
3.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS .....	52
3.5.1	<i>Técnicas</i> .....	52
3.5.2	<i>Instrumentos</i> .....	53
3.5.3	<i>Equipos</i> .....	53
3.6	PROCEDIMIENTOS.....	53
3.6.1	<i>Procedimiento para la obtención de la muestra</i> .....	53
3.6.2	<i>Procedimiento del desarrollo experimental</i> .....	54
3.6.3	<i>Medición de Parámetro Fisicoquímicos</i> .....	56
3.7	ANÁLISIS DE DATOS .....	59
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>60</b>
4.1	CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE DOMESTICO .....	60
4.2	RESULTADOS DE CONCENTRACIONES RESIDUALES DE DQO Y DBO .....	61
4.2.1	<i>RESULTADOS PARA EL TRATAMIENTO DE LA DQO</i> .....	61
4.2.2	<i>RESULTADOS PARA EL TRATAMIENTO DE LA DBO</i> .....	69
4.3	EFICIENCIAS ALCANZADAS PARA LA REMOCIÓN DE DQO Y DBO .....	77
4.3.1	<i>Eficiencias del tratamiento con Sulfato de Aluminio para DQO.</i> .....	77
4.3.2	<i>Eficiencias del tratamiento con Sulfato de Aluminio para DBO.</i> .....	81
4.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	85
<b>V.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>97</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>100</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>101</b>
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>102</b>
<b>IX.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>111</b>
A.	MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	111
B.	PANEL FOTOGRAFICO .....	112

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de Variables .....	50
<b>Tabla 2.</b> Procesos de Oxidación Avanzada .....	60
<b>Tabla 3.</b> Concentraciones Residuales de DQO al 0.5% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	61
<b>Tabla 4.</b> Concentraciones Residuales de DQO al 1% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	63
<b>Tabla 5.</b> Concentraciones Residuales de DQO al 1.5% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	64
<b>Tabla 6.</b> Concentraciones Residuales de DQO al 2% de $Al_2(SO_4)_4$ .....	66
<b>Tabla 7.</b> Concentraciones Residuales de DQO al 2.5% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	67
<b>Tabla 8.</b> Concentraciones Residuales de DBO al 0.5% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	69
<b>Tabla 9.</b> Concentraciones Residuales de DBO al 1% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	71
<b>Tabla 10.</b> Concentraciones Residuales de DBO al 1.5% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	72
<b>Tabla 11.</b> Concentraciones Residuales de DBO al 2% de $Al_2(SO_4)_4$ .....	74
<b>Tabla 12.</b> Concentraciones Residuales de DBO al 2.5% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	76
<b>Tabla 13.</b> Eficiencias Alcanzadas para la DQO al 0.5% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	77
<b>Tabla 14.</b> Eficiencias Alcanzadas para la DQO al 1% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	78
<b>Tabla 15.</b> Eficiencias Alcanzadas para la DQO al 1.5% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	79
<b>Tabla 16.</b> Eficiencias Alcanzadas para la DQO al 2% de $Al_2(SO_4)_4$ .....	79
<b>Tabla 17.</b> Eficiencias Alcanzadas para la DQO al 2.5% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	80
<b>Tabla 18.</b> Eficiencias Alcanzadas para la DBO al 0.5% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	81
<b>Tabla 19.</b> Eficiencias Alcanzadas para la DBO al 1% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	82
<b>Tabla 20.</b> Eficiencias Alcanzadas para la DBO al 1.5% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	82
<b>Tabla 21.</b> Eficiencias Alcanzadas para la DBO al 2% de $Al_2(SO_4)_4$ .....	83
<b>Tabla 22.</b> Eficiencias Alcanzadas para la DBO al 2.5% de $Al_2(SO_4)_3$ .....	84
<b>Tabla 23.</b> Agrupación de Resultados según Tratamiento aplicado para remoción de la DQO.....	85
<b>Tabla 24.</b> Agrupación de Resultados según Tratamiento aplicado para remoción de la DBO.....	87

<b>Tabla 25.</b> Prueba Tukey de Aplicación de tratamientos para la disminución de la DBO en aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich, Miraflores, 2022 .....	93
<b>Tabla 26.</b> Prueba Tukey de Aplicación de tratamientos para la disminución de la DQO en aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich, Miraflores, 2022 .....	94
<b>Tabla 27.</b> Comparación de aplicación de mejor tratamiento aplicado para la remoción de DBO y DQO en aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich, Miraflores, 2022 .....	95
<b>Tabla 28.</b> Eficiencias del primer ensayo para Mn de 160 mg/l.....	96

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Comportamiento de la DQO al 0.5% de Sulfato de Aluminio.....	62
<b>Figura 2</b> Comportamiento de la DQO al 1% de Sulfato de Aluminios.....	64
<b>Figura 3</b> Comportamiento de la DQO al 1.5% de Sulfato de Aluminio.....	65
<b>Figura 4</b> Comportamiento de la DQO al 2% de Sulfato de Aluminio.....	67
<b>Figura 5</b> Comportamiento de la DQO al 2.5% de Sulfato de Aluminio.....	68
<b>Figura 6</b> Comportamiento de la DBO al 0.5% de Sulfato de Aluminio.....	70
<b>Figura 7</b> Comportamiento de la DBO al 1% de Sulfato de Aluminio.....	72
<b>Figura 8</b> Comportamiento de la DBO al 1.5% de Sulfato de Aluminio.....	73
<b>Figura 9</b> Comportamiento de la DQO al 2% de Sulfato de Aluminio.....	75
<b>Figura 10</b> Comportamiento de la DQO al 2.5% de Sulfato de Aluminio.....	76
<b>Figura 11</b> Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD)para la disminución de DBO aplicando los tratamientos.....	89
<b>Figura 12</b> Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD)para la disminución de DQO aplicando los tratamientos.....	90
<b>Figura 13</b> Presentación de Resultados de la prueba tukey respecto a la remoción de la DBO.....	93
<b>Figura 14</b> Presentación de Resultados de la prueba tukey respecto a la remoción de la DBO.....	94

## RESUMEN

La planta de tratamiento de aguas residuales domésticas “María Reich” ubicada en el distrito de Miraflores recibe efluentes con cargas orgánicas elevadas, cuya caracterización inicial mostró concentraciones de 392.74 mg/l de DQO y 210.8 mg/l de DBO, excediendo los Límites Máximos Permisibles de acuerdo con el D.S N° 003-2010-MINAM. La materia orgánica siempre será uno de los principales problemas a ser removido de las aguas residuales domésticas, donde las plantas de tratamiento por lo general tienen que desarrollar tratamientos muy costosos y con importantes gastos de energía. En tal sentido en la presente investigación se pretendió remover inicialmente gran parte de la materia orgánica mediante la optimización con sulfato de aluminio, en un sistema controlado por el investigador con el uso de la prueba de jarras, en tal sentido, el desarrollo metodológico consistió en preparar cinco concentraciones diferentes de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 % de  $Al_2(SO_4)_3$  y cada concentración fue trabajada con dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml a fin de encontrar la máxima eficiencia para la remoción de la DQO y DBO. De acuerdo con los resultados finales obtenidos en nuestro trabajo experimental, los niveles óptimos se obtuvieron con la concentración al 1% y 50 ml de dosis, alcanzando un pH óptimo de 6.5, el cual se encontraba dentro de los Límites Máximos Permisibles establecidos en la normativa peruana para vertimientos de efluentes domésticos a cuerpo receptor, siendo las eficiencias alcanzadas para la DQO y DBO del orden del 85.7 y 87.9% respectivamente.

*Palabras Clave:* remoción, optimización, aguas residuales

## ABSTRACT

“María Reich” domestic wastewater treatment plant located in the district of Miraflores receives effluents with high organic loads whose initial characterization showed concentrations of 392.74 mg/l of COD and 210.8 mg/l of BOD, exceeding the maximum permissible limits of according to Supreme Decree No. 003-2010-MINAM. Organic matter will always be one of the main problems to be removed from domestic wastewater, however, to solve this problem treatment plants usually must develop very expensive treatments with significant energy costs. For this reason the aim of the present investigation was to remove a large part of the organic matter through optimization with aluminum sulfate, in a system controlled by the researcher with the use of the jar test, therefore the methodological development consisted of prepare five different concentrations of 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5% of  $Al_2(SO_4)_3$  and each concentration was worked with doses of 10, 20, 30, 40 and 50 ml in order to find the maximum efficiency for the removal of the COD and BOD. The main findings were the following: the optimal levels were reached with the concentration at 1% and 50 ml of dose, reaching an optimal pH of 6.5, which was found within the Maximum Permissible Limits established in the regulations. peruana for discharges of domestic effluents to the receiving body, with the efficiencies reached for COD and BOD in the order of 85.7 and 87.9%, respectively.

*Keywords:* removaal, optimization, wastewter

## I. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales domésticas por lo general presentan elevadas concentraciones de materia orgánica por lo que siempre será necesario removerlas antes de verterlas a un cuerpo receptor. La presencia con niveles elevados de carga orgánica en las aguas residuales domésticas constituye un problema real para los cuerpos de aguas receptoras y por ende su efecto en la salud pública de la población que se abastece de estas fuentes, en este sentido nace como una opción importante el proceso de Coagulación-Floculación, como una buena alternativa para la depuración de las aguas residuales domésticas con elevadas cargas orgánicas expresadas como DQO, SST y Algas (Mojica, 2016).

La PTAR “María Reich” recibe en su sistema de tratamiento un efluente doméstico proveniente de una parte de la zona urbana del distrito de Miraflores, cuyas características fisicoquímicas muestran elevadas concentraciones de materia orgánica lo cual requiere de un tratamiento biológico para su remoción. En este sentido, es importante contar con un tratamiento previo mediante la optimización con sulfato de aluminio, a fin de reducir la carga orgánica, reducir los gastos de energía y asegurar un vertimiento en cumplimiento con los Límites Máximos Permisibles.

Las descargas continuas de aguas residuales con poco o ninguna forma de tratamiento que son vertidas a los cuerpos receptores hídricos, llegan a afectar por lo general el equilibrio ecológico de los mismos, ya que en su mayoría estas aguas contienen sustancias y/o compuestos que alcanzan concentraciones que exceden la tolerancia o niveles exigibles para un uso determinado, presentan por lo general baja capacidad de dilución y son difícilmente asimilables en el cuerpo receptor (Orozco, 2005).

Los cuerpos de agua por lo general requieren de algún tratamiento en particular antes de ser distribuida hacia el consumidor, estas a su vez pueden contener diversas clases de sustancias, algunas de las cuales pueden resultar peligrosas para la salud en general y otras

simplemente se manifiestan con problemas estéticos. Una de las cuestiones limitantes en el consumo de agua en zonas urbanas y rurales a nivel mundial es la presencia de sólidos en suspensión que se manifiestan en coloraciones y turbiedades medias y elevadas, motivo por el cual se requieren de tratamientos químicos que incrementan los costos de su tratamiento y a su vez conllevan a un riesgo para la salud de los usuarios (Cerón, 2016).

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

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

Se entiende por aguas residuales al resultado de la introducción de materias contaminantes al recurso hídrico por alguna acción humana, modificando la calidad y parámetros fisicoquímicos del mismo. Estas aguas provienen del sistema de abastecimiento de agua de alguna población y está conformada por componentes físicos, químicos y biológicos; además, es una mezcla de materia orgánica e inorgánica que se puede encontrar suspendida o disuelta (Díaz Cuenca et al, 2012).

Se puede manifestar que las aguas residuales domésticas hacen referencia a aquellas utilizadas con fines higiénicos (cocinas, baños, lavanderías, etc.), consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas provenientes de edificaciones, también se encuentran los residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares (Mara, 1990). Se estima que las aguas residuales domésticas están constituidas por un elevado porcentaje de agua (en peso), cerca de 99,9 % y apenas 0,1 % de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos, esta pequeña fracción de sólidos es la que presenta los mayores problemas en su tratamiento y su disposición.

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2016), afirma que la descarga directa sin un tratamiento previo de las aguas residuales en los cuerpos receptores

(ríos, lagos, quebradas secas o el mar) es uno de los principales factores de contaminación no solo de los diversos ecosistemas existentes sino, sobre todo, de nuestras actuales fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas, lo que amenaza la sostenibilidad del recurso y pone en riesgo la salud de la población.

El diagnóstico realizado por la SUNASS revela que, en el Perú, alrededor de 2,59 millones de m<sup>3</sup> de aguas residuales domésticas se vierten diariamente mediante redes de alcantarillado y requieren un tratamiento previo a ser depositado en el medio o para reúso (riego de sembríos o áreas verdes).

El crecimiento de población constituye un factor de incremento en la producción de aguas residuales domésticas, por lo que Lima metropolitana su producción de aguas residuales domésticas es mayor que en muchos otros departamentos y provincias debido a la situación socioeconómica y de orden público del país. Si bien la contaminación hídrica no es exclusiva de los centros urbanos, la mayor proporción de las masas contaminadas son generadas por los vertimientos de los municipios (Herrera, 2015).

Debido a las grandes masas de aguas residuales domésticas producidas en el Perú se requiere impulsar la búsqueda de mecanismos que contrarresten esta situación y disminuyan la cantidad de contaminantes presentes en las aguas residuales y así poder disponer de ella para reúso. El tratamiento de aguas residuales domésticas tiene como objetivo eliminar los contaminantes hasta alcanzar los Límites Máximos Permisibles (LMP) de acuerdo con las normas y estándares nacionales e internacionales esto con el fin de que, al ser vertidos en un cuerpo receptor (ríos, océanos, etc.), no se genere un impacto negativo al ecosistema (Díaz Cuenca et al, 2012).

En el tratamiento de aguas residuales de efluentes domésticos, los agentes clarificadores como los coagulantes y floculantes ayudan a eliminar los sólidos suspendidos, incluso contaminantes como el petróleo, elementos orgánicos (carbono orgánico total y color)

y durezas. A su vez, esto permite que se prepare agua bruta afluyente para un uso eficiente como agua de proceso, cumplan con las normativas de vertido de aguas residuales de forma confiable y, al mismo tiempo, reutilicen el agua de manera rentable.

### **1.1.2 Formulación del Problema**

#### **1.1.2.1 Problema general**

¿Cómo será la optimización del sulfato de aluminio para la remoción de la DQO y DBO en las aguas residuales domésticas de la PTAR María Reich en Miraflores, 2022?

#### **1.1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuáles serán las características de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas de la PTAR María Reich en Miraflores?
- ¿Cuáles serán las concentraciones residuales de la DQO y DBO a ser removidos por optimización con sulfato de aluminio en las aguas residuales domésticas de la PTAR María Reich en Miraflores?
- ¿Cuál será la eficiencia del sulfato de aluminio para remover la DQO y DBO de las aguas residuales domésticas de la PTAR María Reich en Miraflores?

## **1.2 Antecedentes**

### **1.2.1 Antecedentes Internacionales**

Ovuoraye et al. (2021), en su artículo científico que desarrollaron sobre: “Optimization studies on turbidity removal from cosmetics wastewater using aluminum sulfate and blends of fishbone” plantean como objetivo la optimización del tratamiento de coagulación-floculación de aguas residuales cosméticas. Dentro de la metodología empleada se desarrolla mezclas de hueso de pescado (BFB) y coagulante a base de

aluminio (ABC) para determinar la eficacia de BFB como una ayuda potencial para coagulantes y floculantes en condiciones óptimas utilizando la metodología de superficie de respuesta (RSM). El experimento se realizó utilizando el procedimiento nefelométrico estándar a una velocidad de agitación de 1000 rpm. El diseño compuesto central (CCD) se usó para observar las interacciones del pH, mientras que la dosificación y tiempo de sedimentación se empleó para maximizar la eficiencia de eliminación de turbidez de la coagulación impulsada por ABC y BFB. El pH, la dosis y el tiempo de sedimentación óptimos para ABC se obtuvieron como 10, 0.1 g/L y 2 min, mientras que para BFB se registraron un pH de 6, 0.4 g/L y un tiempo de sedimentación de 4 min siguiendo el modelo cuadrático establecido del RSM. La eficiencia de eliminación de ABC y BFB fue del 80 % y 88 %, respectivamente; esto corresponde a 262 NTU y 288 NTU de remoción de las aguas residuales en condiciones óptimas. El resultado de la cinética indicó que la constante de velocidad ( $K_f$ )  $3 \times 10^{-3}$  (L/g min) de BFB superó los  $5 \times 10^{-5}$  (L/g min) registrados para ABC después de la reacción de coagulación de segundo orden, con coeficientes de correlación ( $R^2$ ) valores de 0.999 y 0.9985, respectivamente. En condiciones óptimas, BFB cumplió con el estándar de pH de la agencia de protección ambiental para la descarga de aguas residuales industriales, resultando favorable como coagulante floculante para la purificación de aguas residuales industriales y la preservación del medio ambiente.

Caldera et al. (2011), en su artículo científico publicado sobre: “Eficiencia del sulfato de aluminio durante el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola”, proponen como objetivo determinar la eficiencia del sulfato de aluminio como coagulante en el proceso de tratamiento de las aguas de la industria avícola, en este estudio los ensayos de simulación de coagulación, floculación y sedimentación se desarrollaron mediante la prueba de jarras con aguas residuales que fueron muestreadas al inicio de un

separador de AyG de esta industria avícola. Para estas pruebas en laboratorio se consideró un control (sin coagulante) y se añadieron concentraciones de sulfato de aluminio de 200, 250, 300, 350, 400 mg/L. finalmente se compararon las eficiencias de remoción de la DQO, SST, SSV, AyG, turbidez y color, al inicio y al término del tratamiento con el coagulante. Concluyéndose que el sulfato de aluminio durante el tratamiento de las aguas residuales logró remociones de DQO, A y G, SST, SSV, color y turbidez entre 80% a 87%, 63% a 75%, 91% a 96%, 93% a 96%, 88% a 98% y 83% a 96%, respectivamente, siendo para la mejor concentración de este coagulante 300 mg/L remociones de DQO, SST, A y G, turbidez y color superiores al 74%.

Zhou et al. (2008), en su artículo científico sobre “Decolorization and COD removal of secondary yeast wastewater effluents by coagulation using aluminum sulfate” mencionan de qué manera se desarrolló el proceso de coagulación con sulfato de aluminio como alternativa de tratamiento para las aguas residuales de levadura tratadas biológicamente, dentro de la metodología empleada se consideró el pH de la solución, la dosis de coagulante, los ácidos coagulantes (floculante) y las condiciones de mezcla que influyen en la DQO y la eficiencia de eliminación del color; así mismo se analizó el mecanismo de coagulación utilizando sulfato de aluminio. Dentro de los resultados se observa que la dosificación óptima del coagulante se incrementa al elevarse el pH inicial; considerando que el pH inicial ideal debe ser mayor a 7 para obtener una reducción eficaz de los colorantes. Concluyendo que la velocidad de mezcla ideal oscila entre 300 y 500 rpm; alcanzando una eficiencia de eliminación de DQO y color de 72 % y el 90 %, respectivamente.

Ming et al. (2021), en su artículo científico sobre “Application of Aluminum Sulfate in the Treatment of Papermaking White Water”, emplearon métodos

fisicoquímicos para el tratamiento de las aguas empleadas en la elaboración de láminas de mantillo de fibra vegetal que contienen fibras finas y rellenos inorgánicos como sólidos en suspensión en la fabricación de papel. La DQO se logró reducir luego del tratamiento de agua blanca con el floculante. Este estudio se desarrolló comparando 3 coagulantes distintos: sulfato de aluminio, cloruro de polialuminio (PAC) y policloruro de dialildimetilamonio) (PDADMAC) y como floculante copolímero de poliacrilamida (PAM) para el tratamiento, donde se obtuvo que el sulfato de aluminio posee mejor efecto de coagulación y a un costo menor. Concluyéndose que en el tratamiento las óptimas condiciones de floculación fueron 2.733 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3$  y 4,52 mg/L de PAM; logrando una DQO menor a 300 mg/L.

Daza y Martínez (2021), en su estudio que realizaron sobre: “Evaluación del proceso de Coagulación, Floculación y Centrifugado mediante Sulfato de Aluminio como Tratamiento de Lixiviado maduro generado en relleno sanitario el Ojito de Popayán”, establecen como objetivo: Determinar la dosificación del agente coagulante (Sulfato de Aluminio), y evaluar la eficiencia de remoción de turbiedad. Dentro de la metodología empleada en esta investigación se tomó 2 muestras de lixiviado, una en temporada de altas precipitaciones y otra en bajas, en el laboratorio se desarrolló un diseño considerando 3 réplicas y como indicador se tuvo la dosis de sulfato de aluminio y el tiempo de centrifugado; determinando así la influencia de estos indicadores en el volumen de lodos separados del proceso de centrifugación del lixiviado dejando en un nivel mínimo la turbiedad de este. Obteniendo como resultado que la combinación del coagulante (sulfato de aluminio) y el centrifugado es un tratamiento eficiente ya que con elevadas precipitaciones que arrojan niveles de turbiedad de 26,4 a 39,1 NTU se alcanza una remoción de hasta 85% de la turbiedad, con una dosificación de 300 mg/l y 2 minutos como tiempo mín. de centrifugación; mientras que a bajas precipitaciones, con una

turbiedad de 21,6 hasta 33,3 NTU con una dosis de 800 mg/l de agente coagulante y 3 min de centrifugado se alcanza remociones de  $79,55\% \pm 0,45\%$ .

### ***1.2.2 Antecedentes Nacionales***

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

promedio de 14 C° y un pH de 7.5.

Córdova (2019), en la investigación que desarrolló sobre: “Aplicación de sulfato de aluminio y tuna (*Opuntia ficus-indica*) para la remoción de materia orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal municipal Tumán 2018” planteó como objetivo general: Determinar la acción del sulfato de aluminio y Tuna (*Opuntia ficus-indica*) en la remoción de materia orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal municipal de Tumán. El presente estudio demuestra que empleando sulfato de aluminio y tuna se logra disminuir el grado de contaminación de las aguas residuales, dentro de la metodología empleada se realizaron tratamientos para optimizar la calidad del recurso hídrico, posteriormente se procedió a aplicar 40ml/l de sulfato de aluminio en todos los tratamientos y repeticiones junto con el mucilago del Tuna en proporciones de 20ml/l, 30ml/l, 40ml/l. todos los tratamientos se llevaron a cabo mediante la prueba de jarras donde se alcanzaron remociones de materia orgánica de 7,44% hasta 53,12% que fue la más eficiente y remociones de turbidez de 53.84% hasta 77.0%.

Chacón y Ramos (2019), en la investigación que desarrollaron sobre: “Optimización de parámetros para remoción de turbidez, DBO5 Y DQO mediante procesos de coagulación/floculación de aguas residuales domésticas empleando Organoarcilla” plantearon como objetivo general: Optimizar los parámetros para la remoción de turbidez, DBO5 y DQO mediante procesos de coagulación y floculación de aguas residuales domésticas empleando organoarcilla. Dentro de la metodología empleada en esta investigación los procesos de coagulación y floculación son intervenidas por insumos químicos (sales de aluminio), es así que se planteó evaluar la eficiencia de remoción de la turbidez, DBO5 y DQO mediante la optimización de parámetros, a base de organoarcilla y goma de tara, se procedió a recolectar muestras de la residencia de varones

de la Universidad Peruana Unión, después se realizó ensayos a escala laboratorio empleando prueba de jarras, obteniendo como resultados que en la 1era etapa las variables más significativas y su efecto en la variable respuesta fueron: la concentración de organoarcilla 1.25, 1.5 y 2g/100mL, concentración de tara 1, 1.5 y 2g/100mL, dosis óptima de tara 10, 15 y 20mL, velocidad rápida 200, 250 y 300rpm y velocidad lenta 40, 45 y 50rpm; mientras que en la 2da etapa se consideraron 2 variables significativas: concentración de organoarcilla 0.65, 1, 1.25, 1.5 y 1.85g/100mL y velocidad lenta 16, 30, 40, 50, 65rpm, se concluye que se alcanzó reducir la turbidez de 75.7 a 1.6 NTU con una eficiencia de remoción de 97.89%, DBO5 de 300 a 94.30mg/L con 68.56% y DQO de 628 a 191.33mg/L con 69.53% respectivamente; y que la organoarcilla es más eficiente en la remoción de turbidez con un pH de 7.5 a diferencia del DBO5 y DQO que alcanzaron una baja remoción.

Oré (2017), en su investigación que realizó sobre, “Influencia del Sulfato de Aluminio y pH en la Remoción de la Materia Orgánica para el Tratamiento del Agua Residual del Camal municipal de Chupaca” planteó como objetivo general Determinar la influencia del sulfato de aluminio y pH en la remoción de la materia orgánica en el tratamiento del agua residual del camal municipal de Chupaca. Dentro de la metodología empleada en esta investigación se procedió a caracterizar las aguas residuales del camal municipal de Chupaca consiguiendo como resultados para: Solidos Totales 1613 mg/L, DQO 1696 mg O<sub>2</sub>/L, Alcalinidad 450 mg CaCO<sub>3</sub>/L, pH 8.12; es así que se empleó un tratamiento primario avanzado, donde se emplea los procesos de Coagulación, Floculación y Sedimentación, dichos experimentos se realizaron mediante la prueba de jarras, considerando para la dosis de coagulante 3 y 5 g/L de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, pH (7 y 9) y la contaminación de las aguas residuales (1408 - 1493 mg O<sub>2</sub>/L). Concluyendo que pH y la Concentración del Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> influyen en la Remoción de la Materia Orgánica medido por

la DQO, así mismo se tiene que el valor máximo 64.47% y mínimo 35.04% de porcentaje de remoción de DQO se obtuvo a pH de 8 y 9; con Concentración de  $Al_2(SO_4)_3$  de 5 y 3 g/L respectivamente.

Cabrera (2019), en un estudio que realizaron sobre “Formulación de una mezcla constituida por Semillas de Moringa (*Moringa Oleifera*) y Sulfato de Aluminio, para ser usada en el proceso de Coagulación-Floculación en el tratamiento de Agua Residual.”, planteó como objetivo: Determinar la formulación óptima de la mezcla compuesta por semilla de moringa (*Moringa oleífera*) y sulfato de aluminio para obtener una máxima eficiencia en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua residual proveniente de la destilería de Cobre. El ensayo se realizó mediante la prueba de jarras, en dónde se emplearon 11 litros de agua sin tratar a un pH inicial de 6.5 y se evaluó después el pH de 6.25, 6.76, 7.31, 7.8 y 8.26, ajustándose con ácido clorhídrico 0.1N e hidróxido de sodio 0.1N, posteriormente se procedió a realizar un tratamiento primario a cada muestra inicial de pH de 6.5, las cuales se evaluaron con 8 dosificaciones diferentes de la mezcla de coagulantes para calcular la concentración óptima de dicha mezcla; El pH óptimo se determinó empleando la dosificación de mayor eficiencia en el proceso de coagulación – floculación, a una temperatura constante; para calcular la temperatura óptima, la dosificación de mayor eficiencia y pH óptimo permanecieron constantes mientras se varió la temperatura en 3 pruebas. Llegando a concluir que la dosificación optima fue de 0.6 g de  $Al_2(SO_4)_3$  y 0.4 g de semilla de Moringa, el pH óptimo fue de 8.26, a una temperatura optima de 26°C, disminuyendo la turbidez inicial de 73 a 6.5 UNT. A estas óptimas condiciones se logró reducir la DBO de 582 a 396 ppm y la DQO de 1213 a 985 ppm cumpliendo con de esta forma con los valores máximos admisibles establecido por el D.S. 021-2009-VIVIENDA, para las descargas de aguas residuales no domésticas.

Mendoza et.al. (2013), en su artículo científico sobre: “Optimización de Sulfato de Aluminio para la Remoción de Materia Orgánica en la Obtención de Agua Potable” plantearon como objetivo: Determinar el menor nivel de turbidez del agua de abastecimiento para ciertas concentraciones de Oxido de Calcio y Sulfato de Aluminio, dentro de la metodología se empleó como Población toda el agua que pasa por el canal ubicado entre ambientes de la Facultad de Ingeniería Pesquera y la plaza frente a oficinas del Pabellón Docente en la UNJFSC; la muestra se conformó por un volumen de agua tomada de la población, una vez al mes y durante 6 meses de manera aleatoria para su análisis. Como resultado se obtuvo que la concentración óptima de Oxido de Calcio fue de 200 mg/l, el cual es el agente coadyuvante en los procesos de Coagulación, Floculación, empleando la Prueba de Jarras; mientras que la concentración óptima de Sulfato de Aluminio fue de 120 mg/l, el cual es el reactivo de los procesos de Coagulación, Floculación, empleado en la Prueba de Jarras. Se concluye que tanto el Óxido de Calcio y el Sulfato de Aluminio, son componentes eficaces para alcanzar una óptima remoción de materia orgánica y así clarificando las aguas de abastecimiento.

### **1.3 Objetivos**

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

Optimizar el uso del sulfato de aluminio para la remoción de la DQO y DBO en aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich, Miraflores, 2022.

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

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores.

- Determinar las concentraciones residuales de la DQO y DBO removidos por optimización con sulfato de aluminio en las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores.
- Determinar la eficiencia del sulfato de aluminio para la remoción de la DQO y DBO de las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores.

#### **1.4 Justificación**

La generación de aguas residuales domésticas constituye una problemática que cobra mayor relevancia debido al incremento de las poblaciones urbanas; y, por consecuencia aumenta la producción de estas aguas contaminadas. Las aguas residuales domésticas requieren recibir un tratamiento para su reúso, así como también para proteger la salud pública y conservar el ecosistema en el cual son depositadas.

Antes de tratar cualquier agua residual se debe conocer su composición, realizar una caracterización del agua permitiendo analizar los elementos químicos y biológicos presentes, para así poder diseñar el método adecuado para su tratamiento.

Esta investigación se realiza para determinar en qué medida se puede reducir la concentración de contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas que se depositan en la PTARD María Reiche del distrito de Miraflores mediante el método de floculación-coagulación teniendo al sulfato de aluminio como coagulante y determinando si los parámetros resultantes del tratamiento cumplen con los límites máximos permisibles de calidad de agua.

## **1.5 Hipótesis**

### ***1.5.1 Hipótesis general***

El uso de sulfato de aluminio permitirá optimizar la remoción de la DQO y DBO en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reich, Miraflores, 2022.

### ***1.5.2 Hipótesis específicas***

- Los niveles de los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los LMP para las aguas residuales domésticas de la PTAR María Reich en Miraflores.
- Las concentraciones residuales de la DQO y DBO son removidas óptimamente con sulfato de aluminio en las aguas residuales domésticas de la PTAR María Reich en Miraflores.
- La optimización del sulfato de aluminio permitirá alcanzar mayores eficiencias en la remoción de la DQO y DBO de las aguas residuales domésticas de la PTAR María Reich en Miraflores.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 *Calidad de agua*

El agua, gracias a sus propiedades como solvente y su capacidad de movilizar partículas, retienen en sus moléculas diferentes contaminantes que alteran la calidad del agua. La calidad del agua puede ser definida por la máxima y mínima cantidad de contaminantes en el sistema de agua, es importante reconocer que la insuficiente calidad del agua puede causar la escasez de esta (Dawood et al., 2020). Además, es de relevancia aclarar que la calidad del agua es producto de procesos naturales y de actividades humanas, se puede afirmar que la calidad del agua está en función al uso del suelo en la zona de captación.

Esto se debe a dos factores: primero a las condiciones naturales, ya que la calidad del agua de la superficie se ve afectada por la escorrentía y la infiltración producto de lluvias; el impacto depende del contacto del agua con partículas, sustancias e impurezas en el suelo; es así como la presencia de sólidos suspendidos o sólidos disueltos se da aun cuando la zona de captación está preservada en su condición natural. Por ende, la protección y composición del suelo influye. Y segundo, se debe a la influencia humana tanto de manera concentrada, como en descarga de aguas residuales domésticas o industriales, o de manera difusa, como en la utilización de fertilizantes o pesticidas en el suelo. Estos dos factores suman a la presencia de contaminantes en el agua alterando su calidad, por lo tanto, la manera cómo el hombre utiliza y ocupan el suelo influye de manera positiva o negativa en la calidad del agua (Chacón y Ramos, 2019).

Ahora, resulta relevante estudiar la calidad del agua debido a que la falla en este proceso; causado por la intrusión de contaminantes, es un problema que data de hace muchas

décadas a nivel global, situación que tiene como consecuencias enfermedades, envenenamientos, brote de epidemias y puede cobrar vidas humanas en las comunidades urbanas (Dawood et al., 2020). Asimismo, Alcamo (2019) menciona que algunas de las razones por las cuales la calidad del agua es globalmente significativa son: 1. porque satisface las necesidades de una sociedad por agua limpia (agua para beber, cocinas, de uso higiénico e industrial), y, 2. hace una contribución vital a servicios del ecosistema tales como la subsistencia, la pesca comercial y recreacional, y actividades del hogar.

### **2.1.2 Agua Residual**

Las aguas residuales son definidas como aquellas aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una localidad, cabe resaltar que estas son almacenadas por la red de alcantarillado y previamente han sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Campoverde, 2019). En ese sentido, las aguas residuales son una mezcla de todos los líquidos residuales procedentes de una instalación generado por diversas labores antrópicas que son vertidas sin previo tratamiento lo cual tiene como consecuencia numerosos impactos negativos hacia el medio ambiente y la salud humana (Herrera, 2018).

Siguiendo esta línea, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014) indica que “Las aguas residuales son aguas que presentan características de origen alterada por acciones del hombre y que por sus nuevas características necesitan un tratamiento previo, antes de reusarlas o verterlas un cuerpo receptor o aligeradas a un sistema de alcantarillado”. Algunas de las propiedades que presentan estas aguas son las siguientes: por lo general el color de estas es negro; por lo cual, son llamadas también aguas negras, aguas servidas y son una mezcla compleja de agua combinada con impurezas orgánicas e inorgánicas suspendidas y diluidas; pero existen autores que diferencian aguas residuales y aguas servidas,

mencionando que las aguas residuales son la mezcla de aguas domésticas e industriales, mientras que las aguas servidas, son exclusivamente del uso doméstico.

Algunos de los contaminantes que se encuentran en las aguas residuales son: sustancias que consumen oxígeno (materia orgánica biodegradable), sólidos suspendidos, nutrientes (nitrógeno y fósforo), microorganismos patógenos, materia tóxica (metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos), materia orgánica refractaria, sólidos inorgánicos disueltos (cloruros, sulfuros y pH) y olores ( $H_2S$ ) (Alvites, 2018). Es importante mencionar que en las aguas residuales el concentrado de estos contaminantes es mínimo y se expresan en mg/l, lo que indica miligramos de contaminante por litro de mezcla ya que es una relación de peso/volumen que se aplica para mostrar concentrados de componentes en agua, aguas residuales, desperdicios industriales y otras soluciones diluidas, de forma que las densidades relativas DR de las soluciones disueltas sea equivalente a la del agua (Janampa y Quiroz, 2021).

### ***2.1.3 Agua Residual Doméstica***

Las aguas residuales domésticas están conformadas por aguas negras (excrementos, orina y lodos fecales) y aguas grises (aguas residuales de la cocina, del lavado, limpieza y el baño), provenientes de viviendas, edificios comerciales, instituciones, también son conformadas por aguas residuales sanitarias que se han usado en una comunidad y que presentan todos los materiales agregados al agua durante el uso (Chacón y Ramos, 2019). Estas aguas contienen material suspendido y disuelto, tanto orgánico como inorgánico, los cuales, de acuerdo al tipo de constituyente, pueden ser categorizados en: convencionales (sólidos suspendidos y coloidales, materia orgánica carbonácea, nutrientes y microorganismos patógenos), no convencionales (orgánicos refractarios, orgánicos volátiles,

surfactantes, metales y sólidos disueltos) y emergentes (medicinas, detergentes, sintéticos, antibióticos veterinarios y humanos, hormonas, esteroides, etc.) (Osorio et al., 2021).

La composición de las aguas residuales domésticas son variables debido principalmente por las descargas de distintos lugares, pero, hay estudios que ayudan a determinar la concentración de los contaminantes presentes (Janampa y Quiroz, 2021). Es así como, la cuantificación de los contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas resulta imprescindible; ya que, es una condición necesaria para seleccionar de manera apropiada la tecnología de tratamiento de estas que pueda garantizar tanto en el aspecto técnico como económico una calidad de agua residual tratada adecuada previo a su vertimiento o uso posterior, y para reducir cualquier potencial riesgo a la salud pública y el ambiente (Osorio et al., 2021).

Es importante el estudio de las aguas residuales domésticas en el Perú; puesto que, como señalan Paucar e Iturregui (2020), solo el 40% del volumen total de aguas residuales domésticas producidas son sometidas a algún tipo de tratamiento previamente a que estas mismas sean vertidas en un cuerpo receptor. Siguiendo esta línea, estos mismos autores resaltan que algunas causas de la inadecuada calidad de los cuerpos de agua son los siguientes: el insuficiente tratamiento de aguas residuales domésticas, las descargas de aguas residuales no tratadas, el manejo inadecuado de residuos sólidos, los pasivos ambientales (mineros, hidrocarburíferos, agrícolas y poblacionales) y las características propias del medio ambiente.

#### 2.1.4 *Características de las Aguas Residuales Domésticas*

Las aguas residuales domésticas se caracterizan por su composición:

##### ✓ **Parámetros físicos**

Los análisis físicos de las aguas residuales son las siguientes:

- **Turbidez:** La turbidez es un efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan mediante una muestra de agua; en otras palabras, la turbiedad es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbidez en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etc. (Guzmán, Villabona, Tejada y García, 2013). Actualmente el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelométrico, UTN. Entre mayor sea la intensidad de luz dispersada mayor será la turbiedad. La determinación de turbidez es de gran importancia en aguas para consumo humano y en una gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas. Los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua (Pérez, 2015)

- Temperatura: esta característica es importante pues las aguas residuales presentan temperaturas mayores que las aguas no contaminadas lo que se debe a la mayor actividad bioquímica por parte de los microorganismos (Ruiz et al., 2016). Es así como un aumento de temperatura varía la solución de las sustancias incrementando los sólidos disueltos y reduciendo los gases. La labor biológica por lo general se redobla cada diez grados, si en caso aumentara el valor característico de cada especie viva, se tendría efectos perjudiciales sobre el organismo (Janampa y Quiroz, 2021). Este parámetro es de utilidad pues incide sobre el desarrollo de la vida acuática debido a que el oxígeno es menos soluble en agua caliente, así como se encuentra involucrado en la disponibilidad del oxígeno disuelto, la precipitación de algunas sustancias, procesos de desinfección, floculación, filtración, entre otros (Medrano et al., 2020).
- Sólidos suspendidos totales (SST): los sólidos son la materia restante que continua luego a la evaporación y secado de 103°C, donde se incorpora toda la materia, a excepción el agua contenida en los materiales líquidos. Estos pueden ser clasificados en sólidos sedimentables, sólidos coloidales, sólidos disueltos o sólidos en suspensión (D'Angelo, 2016). Estos últimos son los residuos no filtrables o que no se han disuelto, y se determinan por filtración mediante un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol con su contenido se saca a 103 – 105 C°, el aumento de peso, sobre el peso al inicio, simboliza el contenido de solidos suspendido o resto no disuelto (Janampa y Quiroz, 2021). Además, los sólidos suspendidos totales son parámetros que establecen la cantidad de sólidos (usualmente medidos en miligramos por litro – mg/l) presentes en suspensión (Severiche et al., 2013).

- Eliminación de sólidos suspendidos: El grado de clarificación que resulta al añadir reactivos al agua residual cruda depende de la cantidad de reactivos utilizados, y del cuidado con que se controlan y operan los procesos. Con la precipitación química, es posible eliminar del 80 al 90% de los sólidos en suspensión, del 70 al 80 % de la DB05, y del 80 al 90 % de las bacterias. Los valores comparables de eliminación para tanques de sedimentación primaria adecuadamente diseñados y operados sin adición de reactivos están entre el 50 y el 70 % para los sólidos suspendidos, del 25 al 40% de la DB05, y del 25 al 75 % para las bacterias (Janampa y Quiroz, 2021).

#### ✓ **Parámetros químicos**

Los análisis químicos de las aguas residuales son las siguientes:

- pH: Es La medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno (hidronio) e hidróxido en el agua, lo cual permite reconocer si la naturaleza del agua es ácida, neutra o básica (Sánchez et al., 2018). El rango varía de 0 a 14 unidades, siendo 7 el rango promedio (rango neutral). Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica un rango básico. Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 6,5 y 8,5. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua. El pH tiene una gran influencia en la coagulación. Valores por encima o por debajo del pH óptimo producen malos resultados Una característica primordial del pH es la agresividad de las aguas acidas, que da lugar a la solubilización de sustancias por ataque a los materiales, es así como un efluente con pH adverso puede cambiar el compuesto y cambiar la vida biológica de las aguas naturales,

también es más difícil de tratar por métodos biológicos que solamente pueden desarrollarse entre valores de 6.5 a 8.5 (Pérez, 2015).

- DQO: Es un parámetro analítico de contaminante que mide el material orgánico presente en una muestra líquida por medio de la oxidación química, para calcular la DQO se realiza una medición orgánica que se presenta en una muestra y se oxida por un agente químico oxidante fuerte, para representar el contenido orgánico total de la muestra, oxidable por dicromato en solución ácida, el ensayo es más rápido que el DBO (Loose, 2018).

Todos los componentes orgánicos, con una mínima excepción, pueden ser oxidados a CO<sub>2</sub> y agua por medio de la acción de agentes oxidantes fuertes, en condiciones ácidas. La oxidación de la mayor parte de las formas de materia orgánica se realiza por medio de la ebullición de la muestra con una combinación de sulfúrico y un exceso de dicromato de potasio estándar.

La DQO, es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar totalmente por medios químicos los compuestos orgánicos a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. En la práctica la materia orgánica en agua es oxidada por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> bajo condiciones precisas en medio de ácido sulfúrico concentrado, y a una temperatura de 160°C la cantidad de oxígeno de dicromático empleado es definida y manifestada como DQO (Janampa y Quiroz, 2021).

- DBO: Es definida como la cantidad de oxígeno, reflejada en mg/L, que se necesitan para realizar el proceso oxidativo biológico de los elementos de las aguas residuales (Medrano et al., 2020). Uno de los ensayos más importantes para la determinación de la concentración de las aguas residuales es el ensayo de DBO a 5 Días, la DBO es una medición de la cantidad de oxígeno usada por los microorganismos en el estabilizado de la materia orgánica biodegradable, por

debajo de las condiciones aerobias, en un periodo de 5 días y a 20°C. En las aguas residuales domésticas, el valor de la DBO a 5 días representa un valor de 65 a 70 % de lo global de la materia oxidable. La temperatura para determinar la DBO es 20°C y debe ser constante en periodos del ensayo, la velocidad de las reacciones en el tiempo del ensayo se verá afectada si se cambia la temperatura (Hassan, 2020). La DBO es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua en el que solamente mide la materia orgánica biodegradable (Janampa y Quiroz, 2021).

### ***2.1.5 Tratamiento de Aguas Residuales***

La eliminación de múltiples contaminantes está influenciada por las características morfológicas y químicas de la superficie de las aguas residuales, el tratamiento de estas consiste principalmente en separadores de suelo, materiales orgánicos e hidróxidos metálicos (Xu et al., 2019). Dentro de los tipos de tratamientos de aguas residuales se considera un pretratamiento, este busca suprimir residuos de gran tamaño para así brindar protección a la planta de tratamiento (Orozco, 2005). Algunos tipos de tratamientos de aguas residuales son los siguientes:

- ✓ **Tratamiento Primario:** Este tratamiento se basa en la eliminación de sólidos gruesos, produciendo una reducción de la carga contaminante en sus aguas residuales; según sea la calidad requerida de sus efluentes finales se puede necesitar un filtro, un sistema de flotación o un sistema de floculación y flotación (Ramlho, 2021). Usualmente se lleva a cabo mediante la sedimentación de los sólidos suspendidos en un tanque en el que se encuentran las aguas residuales por un periodo de 0.5 a 3 horas o más, lo cual permite que entre el 40% a 65% de los

sólidos sean finamente divididos y que de un 20% a 40% de la DBO<sub>5</sub> sea eliminado (Gutiérrez y Rivadeneira, 2017). Si se descarga las aguas a un sistema de alcantarillado un tratamiento primario basta para lograr los requerimientos del efluente final. Algunos otros procesos de tratamiento primario son: Sistemas de Filtración (filtros y rejillas), Separadores por gravedad, Sistemas de Flotación, Sistema de Coagulación y floculación, entre otros. (Chacón y Ramos, 2019).

- ✓ **Tratamiento Secundario:** Denominado también tratamiento biológico, se encarga de reducir la materia orgánica presente en el agua y se emplea para aquellos que descargan residuos al medio ambiente, como ríos u otro cuerpo de agua natural (Baca et al., 2014). El objetivo principal de este tratamiento es disminuir o transformar la materia orgánica en sólidos sedimentables floculantes que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación (Loro, 2018). Este tratamiento comprende tratamientos biológicos convencionales y emplea bacterias para remover materia Biodegradable Disuelta en su Agua Residual. Estos sistemas se dividen en dos grupos. Entre ellas tenemos los Sistemas de tratamiento Aeróbicos, Sistemas de Tratamiento Anaeróbicos, Sistemas de Filtración, entre otros (Chacón y Ramos, 2019).
- ✓ **Tratamiento Terciario y Sistemas de reciclaje:** Son procesos físicos y químicos para tratar las aguas de ciertos contaminantes: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. El objetivo de este tratamiento es prevenir la contaminación de cuerpos de agua receptores u obtener la calidad adecuada para el reusó (Díaz et al., 2012). De los tipos de tratamiento de aguas residuales este es el más costoso y se usa en casos especiales, como para purificar desechos de algunas industrias; muchas veces el tratamiento terciario se emplea para mejorar los efluentes del tratamiento biológico secundario pues evita que la

descarga del agua residual previamente tratada ocasione la eutroficación o crecimiento excesivo de algas (Mamani, 2021). Se ha empleado la filtración rápida en arena para eliminar más sólidos y nutrientes en suspensión y reducir la DBO. Entre estos tratamientos se encuentra los Sistemas de recuperación de productos valiosos (Chacón y Ramos, 2019).

### ***2.1.6 Tratamiento Físicoquímico***

Este tratamiento consiste en la eliminación de materiales finos en suspensión no decantables y de partículas coloidales, estas partículas coloidales se componen de arcilla, sílice coloidal y partículas orgánicas, las cuales muestran gran estabilidad en el agua con un tamaño comprendido entre 0,001 y 1  $\mu\text{m}$ ; además, constituyen una parte significativa de la contaminación; ya que, es la causa principal de la turbidez y color del agua. Además, debido a la gran estabilidad que poseen estas partículas es imposible separarlas por los procesos de decantación, flotación, o filtración (Del Carpio y De Celis, 2019).

De acuerdo con Ramos y Chacón (2019) tratamiento físicoquímico tiene como objetivo que, añadiendo algunos productos químicos, se genere una alteración del estado físico de estas sustancias; puesto que, permanecerían por tiempo indefinido de forma estable, para convertirse en partículas susceptibles de separación por sedimentación o flotación. Estos mismos autores añaden que, con el tratamiento físicoquímico, se puede remover del 80 al 90% de la materia total suspendida, del 40 al 70% de la DBO<sub>5</sub> y del 30 al 40% de la DQO. Es relevante mencionar que el tratamiento físicoquímico abarca dos procesos: la coagulación, en la cual se desestabilizan los coloides, y la floculación; en la cual se forman los flóculos (Del Carpio y De Celis, 2019).

### ***2.1.7 Proceso de Coagulación y Floculación***

Se denomina Coagulación-Floculación al proceso donde las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, denominados flóculos. Este proceso se emplea para alcanzar la remoción de la turbidez orgánica o inorgánica, la remoción del color verdadero y aparente, la eliminación de las sustancias productoras de sabor y olor, la remoción de precipitados químicos suspendidos, entre otros, la eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles a ser separados y la destrucción de algas y plancton en general (Chacón y Ramos, 2019). Además, resulta ser uno de los procesos más relevantes en relación con la potabilización de las aguas residuales; puesto que, son los que sirven de base para poder realizar los tratamientos de aguas residuales previamente mencionados (Fernández, 2020).

Generalmente, los mecanismos de coagulación-floculación se pueden clasificar en los siguientes tipos (Yang et al., 2016): 1. Neutralización de carga simple; las cargas negativas de las superficies de los coloides pueden ser neutralizados en una determinada dosificación de coagulantes, 2. Parcheo de carga; se distribuyen hetero cargas de manera desigual que generan atracción electrostática entre las partículas, 3. Puente; el gran peso molecular y los floculantes de cadena larga conectan los flóculos finos para agregarse al grande, y 4. Barrido, se basa en los coagulantes orgánicos. No obstante, es importante resaltar que el mecanismo dominante y la efectividad de este procedimiento se ve influenciada por factores tales como: el cálculo de la dosificación coagulante/floculante a aplicar, las irregularidades en la unidad de mezcla rápida, los restos de material flotante, el pH, la concentración inicial y temperatura, entre otros (Rojas-Reyna et al., 2010).

### **2.1.8 Coagulación**

La coagulación es un proceso de formación de flóculos (partículas grandes) a partir de partículas finamente divididas y desestabilizadas (Chacón y Ramos, 2019). Además, se le considera como un proceso sumamente importante en el tratamiento de aguas porque tiene como objetivo remover y reducir sólidos en suspensión y cualquier contaminante asociado a estos mediante la adición de coagulantes químicos o naturales. El mecanismo para la eliminación de compuestos orgánicos a través de la coagulación tiene tres aspectos principales: (1) los iones metálicos con carga positiva y los coloides orgánicos con carga negativa se neutralizan, desestabilizan y agregan eléctricamente; (2) los iones metálicos y las moléculas de materia orgánica soluble forman complejos y precipitados insolubles; y (3) la adsorción física y química de compuestos orgánicos ocurre en la superficie del alumbre (Cui et al., 2020)

La coagulación se emplea en la purificación de aguas, en la remoción de impurezas coloidales y disueltas, produciendo flóculos que pueden eliminarse en procesos subsiguientes, polímeros orgánicos sintéticos y naturales, es así como los coagulantes a emplear pueden ser inorgánicos, siendo los más empleados el cloruro férrico, el sulfato de aluminio, sulfato de hierro (Sillanpää et al., 2018). El proceso mediante el cual la coagulación logra tratar las aguas residuales inicia al variar la carga superficial de las partículas para que se aglutinen entre sí y formen partículas mayores que se asienten por gravedad; los ingenieros ambientales utilizan el término coagulación para describir el proceso con el que las partículas mayores y los iones disueltos se eliminan mediante el asentamiento por gravedad o precipitación (Córdova, 2019).

Oré (2017) menciona que la coagulación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen

separados, añadiendo coagulantes químicos y con la energía de mezclado; la coagulación es el método universal ya que elimina sustancias de diferente naturaleza a diferencia de otros métodos. Es así como el término coágulo alude a las reacciones que se producen al añadir un reactivo químico (coagulante) en agua, generando productos insolubles. Sin embargo, es importante señalar que la coagulación mejorada y la coagulación optimizada se mejoran en función de las instalaciones de proceso de tratamiento de agua existentes y al considerar las condiciones operativas de los flujos de proceso anteriores y posteriores para lograr el efecto del tratamiento avanzado de agua y aguas residuales (Cui et al., 2020).

### **2.1.9 Tipos de Coagulación**

De acuerdo con el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del ambiente (CEPIS, 2004) existen dos tipos de coagulación:

- ✓ **Coagulación por adsorción.** Resulta de las interacciones agua-coagulante y se realiza cuando hay una elevada congregación de partículas en estado coloidal presentes en el componente hídrico, el momento que el coagulante es añadido al recurso hídrico con turbidez los componentes disolubles de los coagulantes son absorbidos por los coloides y se conforman los flóculos de manera rápida (Córdova, 2019).
- ✓ **Coagulación por barrido.** Se lleva a cabo cuando el agua se encuentra con mínima turbidez y el contenido de partículas es baja, en esta situación se retienen las partículas al obtenerse sobresaturación de precipitaciones de Sulfato de aluminio (Segarra, 2021). Además, a diferencia de la coagulación por absorción, presenta un comportamiento distinto con relación a la velocidad, tamaño de la partícula, etc.

- ✓ **Coagulantes que se emplean:** los coagulantes son elementos químicos que al añadirse al agua son necesarios para originar la reacción química con las características químicas del recurso hídrico, principalmente con la alcalinidad del agua para generar una precipitación voluminosa, absorbente, constituida de hidróxido metálico del coagulante que se está empleando (Córdova, 2019).

Los Coagulantes más usados para dispersar partículas y promover el floculo son los:

- ✓ **Coagulante Químico**

- **Sulfato de Aluminio:** El Sulfato de Aluminio es la sal sólida de color blanco que se utiliza como elemento de floculación y coagulación para el tratamiento de aguas servidas y de consumo para personas. Es considerado, junto al alumbre y el cloruro de aluminio, como uno de los coagulantes más utilizados para el tratamiento de aguas residuales, esto se debe a que tiene la facilidad de adherir las partículas en suspensión que están en el agua y agilizar la sedimentación (Sillanpää et al., 2018). Lo anteriormente mencionado, colabora con la reducción de materia orgánica, remoción del color y sabor y carga bacteriana.

## **Ventajas**

- Se usa a mayor escala.
- Eficiente en la disminución de diferentes parámetros.
- Altamente eficiente en la formación de flóculos.
- Disminución de la Turbidez Inorgánica y Orgánica que no sedimenta ligeramente.
- **Coagulante Natural:** son compuestos orgánicos de fuente de origen biológico, sobresale el almidón y celulosa, extractos vegetales, algunas gomas, quitosana y alginatos (extracciones de algas). Además, puede provenir también de una variedad de fuentes naturales, como plantas, semillas, crustáceos marinos y biomasas de

mariscos (camarones y cangrejos) y organismos microbianos, con una mayoría de la investigación enfocada en plantas y marinas coagulante natural a base de biomasa (Wei et al., 2018).

**Ventajas:**

- Forma lodos artificiales al cual se le puede dar un tratamiento con mayor habilidad y eficacia.
- Remoción de Turbidez inorgánica y orgánica que no se precipita ágilmente.
- Disminución de color Aparente y verídico.
- Elimina patógenos
- Bajo costo de fabricación
- Elimina plancton en general y algas

**2.1.10 Sulfato de Aluminio**

El sulfato de aluminio es un coagulante comúnmente utilizado en el tratamiento de aguas, de manera general su fórmula es  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$  y es producto de la digestión de minerales de bauxita con  $H_2SO_4$ . El sulfato de aluminio se compone por la sal de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), motivo por el que sus soluciones acuosas son muy ácidas, con un pH que oscila de 2 a 3,8 en función a la relación molar sulfato/alúmina (Galindo, 2018). Este compuesto se almacena de diferentes maneras: polvo, terrones, granos y en líquido. Es así como, al agregar soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en  $Al^{+3}$  y  $SO_4^-$ .

El  $Al^{+3}$  puede interactuar con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal, el  $Al^{+3}$  puede también combinarse con los  $OH^-$  del agua para formar hidróxido de aluminio  $Al(OH)_3$  el cual es de carácter coloidal, y absorbe iones

positivos en solución para formar un sol cargado positivamente. Los iones acuimetálicos se absorben por el coloide negativo y neutralizan su carga superficial permitiendo la coagulación; la coagulación por adsorción y neutralización de carga es el proceso predominante en soluciones de alta concentración de coloides; estos coloides pueden ser eliminados por los flocs formados, al atraparlos en ellos en la floculación y sedimentación; es decir los precipitados de  $Al(OH)_3$  capturan a los coloides dando lugar a una coagulación de barrido, la cual predomina en soluciones de concentración coloidal baja; no obstante, debe resaltarse que con una sobre dosificación de coagulante el proceso puede invertirse y producir coloides negativo y ocasionando con esto problema de turbiedad y color (Lapointe et al., 2021). En el proceso de floculación se completa la aglomeración de las partículas y crecen los flocs hasta un nivel ideal para ser sedimentados, es así como en la sedimentación los flocs descienden dejando un líquido clarificado (Pérez, 2015).

Cabrera (2019), menciona que el sulfato de aluminio es una sal sólida de color blanco, que puede encontrarse como: molido fino, molido grueso y superfino, y que se usa fundamentalmente para el tratamiento del agua potable y residual, utilizado como agente coagulante y floculante primario, el cual se caracteriza por agrupar los sólidos suspendidos en el agua y acelerar la sedimentación para su separación, también ayuda a la eliminación de bacterias y contribuye a la reducción de fósforo en plantas de tratamientos de efluentes; en la industria de madera y papel se emplea para ajustar el pH, para el encalado y para ajustes de retención, además de ayudar con los tratamientos de los efluentes; en la industria farmacéutica es utilizado como astringente en la preparación de drogas y cosméticos; en la industria petroquímica se emplea en la manufactura de catalizadores sintéticos; en la industria química se usa como materia prima para producir diversas sales de aluminio; y en la jardinería como el sulfato de aluminio en medio acuoso es ácido es añadido a los suelos alcalinos para estabilizar el pH.

Barajas y León (2015), indican que es importante conocer la cantidad a emplear de este agente coagulante, la cual se conoce en los procedimientos como el Ensayo de Jarras, puesto que si se agrega más coagulante de la que se necesita se daría una inversión de las cargas, lo que provocaría que el coloide nuevamente presente una carga eléctrica negativa y por ende no se obtenga la remoción de la turbidez, ocurriendo lo mismo si el pH del fluido no está en el rango óptimo del agente coagulante a emplear; por otro lado se tiene que si la cantidad de coagulante no es la necesaria no se obtendrá una neutralización total de las cargas totalmente y la formación de los flóculos será mínima. Además, Vásquez (2018) menciona que el sulfato de aluminio funciona con mayor efectividad con un pH entre 6 y 8, y, que este es el coagulante más utilizado para el tratamiento de agua potable; ya que, no utiliza aditivos. Sin embargo, esta misma autora señala que este coagulante no es muy efectivo para aguas con alta carga contaminante y su inhalación puede ser nociva, en grandes cantidades es tóxico para la vida acuática y causa alergia en los ojos.

### ***2.1.11 Ensayos de Jarras***

La prueba de jarras es la técnica más empleada para calcular la dosis de químicos y otros parámetros para la potabilización del agua en la coagulación del proceso de coagulación química (Romero, 2002). En ella se simula los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio, y para poder ser llevada a cabo necesita datos previos mínimos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda (Fúquene y Yate, 2018).

Existe una diversidad de equipos para pruebas de jarras, pero en toda su versatilidad debe radicar en utilizar una serie de jarras al mismo tiempo (generalmente 6 equipos de jarras) y la posibilidad de variación de la velocidad de agitación (r.p.m) (Navarro, 2015).

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

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

El pH juega un papel fundamental para los procesos de coagulación- floculación, es así como una parte de la carga de las partículas coloidales que han absorbido iones  $\text{OH}^-$ , queda destruida por un aumento de la concentración de iones  $\text{H}_3\text{O}^+$  que ocasiona una disminución de la estabilidad de la suspensión coloidal. El pH debe quedar dentro de la zona correspondiente al mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante usado. Para sales de hierro la zona de pH es mucho más amplia, alcanzándose el mínimo de solubilidad a  $\text{pH} > 5$ . Además, el pH del medio en la coagulación tradicional con hidróxido de aluminio ha demostrado que sólo coagula cuando es inferior a 7.4 o superior a 8.5; sin embargo, la eliminación de las materias orgánicas se efectúa mejor en medio ácido ( $\text{pH}$  inferior a 7.4) (Lorenzo, 2006).

Algunos factores que también influyen en la efectividad de la coagulación y la velocidad de formación del flóculo son los siguientes: la temperatura y el tiempo (Galindo, 2018). Según disminuye la temperatura del agua debe aumentarse la dosis de productos químicos usados para coagular, con el objetivo de lograr o asegurar la formación de flóculos adecuados. Con relación al tiempo, este hace referencia al tiempo de mezclado del coagulante en el agua a tratar que será el necesario para que el producto utilizado se difunda con la mayor rapidez posible. El tiempo de coagulación es muy breve, menos de un segundo y la utilización óptima del coagulante exige que la neutralización sea total antes de que una parte del coagulante haya comenzado a precipitar.

Navarro (2015) menciona que el ensayo de jarras es muy utilizado; ya que, sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento, así como en la optimización de plantas existentes. El procedimiento necesita como datos previos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda. La unidad de mezcla típica consiste en una serie de agitadores de paletas acoplados mecánicamente para operar a la misma velocidad, generalmente entre 10 a 300 RPM. Como jarras de coagulación se recomienda, jarras rectangulares de 1 a 2 litros en acrílico transparente.

## 2.2 Marco Conceptual

### 2.2.1 Definición de términos

- **Agua Ácida de Mina:** Es el efluente generado por la actividad minera, se produce por la oxidación natural de los minerales sulfurosos contenidos en las rocas cuando están expuestos a la acción del agua y aire (De la Cruz, 2019).
- **Sulfato de Aluminio:** El sulfato de aluminio es una sal de fórmula  $Al_2(SO_4)_3$ , es sólido y blanco, se usa como floculante en la purificación de agua potable y en la industria de papel, cuando el pH del agua es débilmente ácido, neutro débilmente alcalino, el aluminio precipita arrastrando las partículas en suspensión dejando el agua transparente (Janampa y Quiroz, 2021).
- **Agua Residual Doméstica:** son las aguas de nacimiento domésticas de comercios o instituciones que contienen desechos fisiológicos entre otros que son producidos por los humanos (Janampa y Quiroz, 2021).
- **Aguas Residuales Tratadas:** efluentes que sufrieron algún tratamiento y están listos para su reutilización con fines de riego o puede ser descargado a un cuerpo receptor (Janampa y Quiroz, 2021).

- **Afluente:** líquido que ingresa a cualquier planta de tratamiento de aguas residuales.
- **Efluente:** líquido ya tratado que es expulsado de un sistema de tratamiento de aguas residuales, listo para ser vertido a un cuerpo receptor.
- **Concentración:** Relación de una sustancia disuelta o contenida en una cantidad dada de otra sustancia (MINAM)
- **Contaminación:** Distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), donde puede ocasionar efectos adversos al ambiente o sobre la salud. (MINAM)
- **Coagulación:** son aglomeraciones de partículas coloidales ( $< 0,001$  mm) y dispersas ( $0,001$  a  $0,01$  mm) en coágulos visibles, por adición de un coagulante.
- **Coagulante:** vienen hacer un electrolito simple, comercialmente sal orgánica, que contiene un catión multivalente de hierro, aluminio o calcio, se utiliza para desestabilizar las partículas coloidales favoreciendo su aglomeración (Janampa y Quiroz, 2021).
- **DQO:** es la medición de la cuantía de oxígeno que necesita para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, utilizando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio (Janampa y Quiroz, 2021).
- **DBO:** El material orgánico necesita oxígeno para que se pueda descomponer en un curso de agua, la elevada cuantía orgánica apoya en el desarrollo de las bacterias y hongos. El oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica consume el oxígeno usado para el crecimiento de la fauna y la flora acuática (Janampa y Quiroz, 2021).
- **Dosis:** Cantidad de una sustancia disponible que interactúa con el proceso metabólico o biológico de los receptores una vez que ha cruzado las barreras externas del organismo. (MINAM)

- **Optimización:** Consiste en la determinación de los valores de cada una de las variables que intervienen en un sistema, con los cuales se obtendrán los mejores resultados o un mínimo posibles de la variable respuesta de un sistema determinado. (Barajas y León, 2015)
- **Tratamiento:** Métodos, técnicas o procesos diseñados para la remoción de sólidos y/o contaminantes de efluentes o emisiones (MINAM)

### 2.3 Marco Legal Ambiental

- *La Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II: Del Ambiente y los Recursos Naturales.* La Constitución Política del Perú de 1993, en su artículo 2º, inciso 22, establece que “Toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida”. Asimismo, los artículos 66º, 67º, 68º y 69º establecen que los recursos naturales, renovables y no renovables son patrimonio de la Nación, siendo el Estado el promotor del uso sostenible de éstos.
- *Ley General de Salud N.º 26842, del año 1997.* Se reconoce la responsabilidad del Estado frente al cuidado de la salud del ambiente. Así tenemos en el Artículo N.º 96 del capítulo IV, menciona que para la disposición de sustancias y productos peligrosos se debe considerar todas las medidas preventivas para evitar daños a la salud y el ambiente. Asimismo, los Arts. 99, 104 y 107 del Capítulo VIII, describen sobre los desechos y responsabilidad de las personas naturales o jurídicas para no realizar descargas de compuestos o sustancias contaminantes al aire, agua o suelo.
- *La Ley General del Ambiente, Ley N.º 28611,* Conforme al artículo N.º 1. Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y tiene el deber de contribuir a una

efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente. así como a sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y desarrollo sostenible del país.

En el artículo N.º 9, cuando se hace referencia a la Política Nacional del Ambiente cuyo objetivo es mejorar la calidad de vida de las personas y garantizar la permanencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales a largo plazo; y el desarrollo sustentable del país, a través de la preservación, cuidado y recuperación del ambiente y sus componentes, la conservación y el aprovechamiento racional y sostenible de los recursos naturales, de una forma responsable y congruente con el respeto a los derechos esenciales de la persona.

En el Artículo N.º 31 habla sobre el Estándar de Calidad Ambiental, y lo define como: La medida que establece el nivel de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

De acuerdo con el artículo N.º 114. Indica que el acceso al agua para consumo humano es un derecho de la población, y que le corresponde al Estado asegurar la vigilancia y protección de aguas que se utilizan para abastecimiento de la población, sin perjuicio de las responsabilidades que correspondan a los particulares. En caso de escasez del recurso hídrico, el Estado asegura el uso preferente del agua para abastecimiento de las necesidades poblacionales, frente a otros usos.

En el artículo N° 120. Refiere que el Estado, tiene el deber de proteger la calidad del recurso hídrico del país. De esta forma el Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fine de su reúso, considerando como antecedente la obtención de la calidad necesaria para su reutilización, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizaran.

- *Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos, del 31 de marzo de 2009*, esta ley tiene como objetivo normalizar el uso y gestión integrada del agua, la participación del Estado y los privados en dicha gestión, basándose en los principios de valoración del agua, priorizar el acceso al agua, participación de los ciudadanos y cultura del agua, seguridad jurídica, el respeto de los usos de agua por las comunidades campesinas y nativas, sustentabilidad, descentralización, prevención, eficiencia, gestión integrada y tutela jurídica; en este sentido se crea el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, siendo la Autoridad Nacional del Agua el ente rector y la máxima autoridad técnico normativa la cual está integrada por el Consejo Directivo, Jefatura, Tribunal de Resolución de Controversias Hídricas, Órganos Desconcentrados denominados Autoridades Administrativas del Agua y Administradores Locales del Agua; y Órganos de Apoyo.

Para el uso del agua y su vertimiento se establece una retribución económica cuyas tarifas están de acuerdo con el uso de infraestructuras hidráulicas mayores y menores, por el servicio de monitoreo y por la gestión de las aguas subterráneas.

La presente ley derogo el Decreto Ley N° 17752, Ley General de Aguas y su reglamento el Decreto Supremo N° 261-69-AP.

- *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. N° 001-2010 - AG*, en su Artículo 103 indica que la protección del agua tiene como fin la prevención y

deterioro de su calidad; proteger y mejorar el estado de los cuerpos naturales y los ecosistemas acuáticos; implantar medidas; específicas para eliminar o minimizar progresivamente las causas que generan su contaminación y degradación.

➤ *D.L N.º 1083-2008-ANA*. El presente decreto legislativo establece el marco normativo para promover el aprovechamiento racional y la conservación de los recursos hídricos motivando el desarrollo de una cultura de uso responsable entre todos los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica, pública o privada. La Autoridad Nacional del Agua, fija los parámetros de eficiencia para el aprovechamiento de los recursos hídricos, los cuales son requisitos máximos y mínimos aplicables a cada tipo y forma de uso del recurso. La ANA brinda Certificados de Eficiencia en la cual consta el uso eficiente, así como Certificados de Creatividad, Innovación e Implementación para la Eficiencia del Uso del Agua. Los incentivos institucionales que promueve la Autoridad Nacional del Agua son cursos de buenas prácticas, pasantías, premios, divulgación de experiencias exitosas e impulso del uso de equipos y tecnologías innovadoras. Para los usuarios y operadores que incumplan con los parámetros de eficiencia tendrán que presentar un Plan de Adecuación para el uso eficiente de los recursos hídricos hasta cumplir en un tiempo no mayor de 5 años con los parámetros solicitados. La ANA fomenta la reversión de los excedentes de los recursos hídricos, así como el reúso de estos.

➤ *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Compila las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N°002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N°023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N°015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para

agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo.

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

- ✓ Categoría 1: Poblacional y Recreacional.
  - ✓ Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales.
  - ✓ Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.
  - ✓ Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.
- *Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Aprueban Límite Máximo Permisible LMP*

Para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda, con la finalidad de controlar excesos en los niveles de concentración de sustancias físicas, químicas y biológicas presentes en efluentes o emisiones, para evitar daños a la salud y al ambiente.

### III. MÉTODO

#### 3.1 Tipo y Diseño de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, porque busca obtener nuevos conocimientos, a partir de una información básica ya encontrada, de tal manera que pueda ser utilizada para resolver un problema. En tal sentido, se pretende conocer la eficiencia del sistema de tratamiento para la remoción de la DQO y DBO en efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas María Reich en Miraflores.

El diseño metodológico desde un enfoque cuantitativo es experimental puro, puesto que se va a manipular intencionalmente la variable independiente “optimización Sulfato de aluminio” con diferentes concentraciones, con la finalidad de observar cambios en el comportamiento de la variable dependiente “Remoción de la DQO y DBO”.

#### 3.2 Ámbito temporal y espacial

##### 3.2.1 *Ámbito temporal*

El desarrollo del plan de tesis se iniciará con una búsqueda de información bibliográfica en noviembre del 2021, para lo cual se consideró revisiones comprendidas entre los años 2012 y 2019. La etapa experimental se ha programado desarrollarla entre enero y abril del 2022; y la redacción final de la tesis se ha proyectado para mayo del 2022.

##### 3.2.2 *Ámbito espacial*

La actividad en campo para la identificación y selección de las unidades experimentales, así como el monitoreo de muestras para las distintas pruebas se tomarán de la Planta de Tratamiento de Agua Residual “María Reiche” ubicada en el distrito de Miraflores, cuyas coordenadas geográficas son: 277 077.91 m. E y 8 659 802.02 m. N; y con una altitud

de 79 m.s.n.m. Los análisis de los parámetros del agua residual, además del ensayo de prueba de jarras para obtener la dosis óptima del coagulante a base de sulfato de aluminio, se realizaron en los ambientes de laboratorio del Anexo 08 de la Universidad Nacional Federico Villarreal, cuyas coordenadas geográficas del lugar son: 277 097 E y 8 667 468 N.

### **3.3 Variables**

#### **3.3.1 *Variable Independiente***

Optimización del Sulfato de Aluminio.

#### **3.3.2 *Variable Dependiente***

Remoción de la DQO y DBO.

**Tabla 1***Operacionalización de las Variables de Investigación*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<b>V.I</b> Optimización con Sulfato de Aluminio.	El sulfato de aluminio es una sal sólida de color blanco, que puede encontrarse como: molido fino, molido grueso y superfino, y que se usa fundamentalmente para el tratamiento del agua potable y residual, utilizado como agente coagulante y floculante primario, el cual se caracteriza por agrupar los sólidos suspendidos en el agua y acelerar la sedimentación para su separación, también ayuda a la eliminación de bacterias y contribuye a la reducción de fósforo en plantas de tratamientos de efluentes; en la industria de madera y papel se emplea para ajustar el pH, Cabrera (2019)	LA optimización del sulfato de aluminio para lograr una eficiente remoción de DBO y DQO se basa en la dosis del coagulante, temperatura, concentración, volumen, tiempo de agitación etc. y se escogerá como dosis óptima aquella que remueva la mayor cantidad.	VARIABLES DEL FLOCULADOR	Volumen	L
				Tiempo	Minutos
				Revoluciones	rpm
			SULFATO DE ALUMINIO	Concentración	%
				Dosis	ml
				Temperatura	°C

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<b>V.D</b> Remoción de DQO y DBO	La Remoción de la DBO y DQO se logra con el proceso de coagulación, donde se logra la purificación de aguas, remoción de impurezas coloidales y disueltas, produciendo flóculos. (Córdova, 2019) El tratamiento fisicoquímico puede remover del del 40 al 70% de la DBO5 y del 30 al 40% de la DQO (Chacón y Ramos, 2019).	La remoción de la materia orgánica presente en las aguas residuales domesticas será evaluada a través de los parámetros de pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, DQO y DBO, cuyo indicador será medido a través del porcentaje de eficiencia para cada caso en particular.	PARAMETROS FISICOS	Conductividad Eléctrica	uS/cm
			Potencial de hidrógenos	Unidad de pH	
			D Q O D B O	mg/l	
			Eficiencia	%	

### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1 Población**

La población correspondiente para el presente trabajo de investigación es el caudal de tratamiento que ingresa a la Planta de Tratamiento de Agua “María Reiche” en el parque municipal del mismo nombre en el distrito de Miraflores, Lima. El punto que se tomará como población es una cámara de almacenamiento previo de las aguas residuales domésticas con un caudal de producción de aproximadamente 32 m<sup>3</sup> /h, y entre 600 mil y 750 mil litros de agua residual doméstica diarios.

#### **3.4.2 Muestra**

La muestra para el trabajo de investigación será de 45 litros de agua residual proveniente de la Planta de Tratamiento “María Reiche” los cuales se destinarán para ser tratados a través del proceso de coagulación con sulfato de aluminio y floculación final, con el objetivo de remover la DQO y DBO del efluente en estudio. Esta muestra será llevada al laboratorio para su análisis respectivo y realizar la caracterización inicial del agua residual doméstica y, seguidamente, hacer la comparación una vez desarrollada la prueba de jarras con el coagulante sulfato de aluminio en distintas dosis.

### **3.5 Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos**

#### **3.5.1 Técnicas**

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

### **3.5.2 Instrumentos**

- Cadena de Custodia.
- Fichas de recolección de datos.

### **3.5.3 Equipos**

- Balanza Analítica SARTORIUS.
- Equipo de Floculación Programable. PHIPPS & BIRD TM.
- Conductímetro de mesa HANNA.
- Multiparámetro de mesa HANNA.
- Colorímetro Digital DR/890 HACH.
- Incubadora para DBO SHEL LAB
- Reactor para DBO HACH
- Oxímetro de Mesa HACH

## **3.6 Procedimientos**

El presente trabajo de investigación se planeó trabajarlo considerando tres etapas principales, el cual se inició con la obtención de la muestra, luego el desarrollo experimental y finalmente la medición de los parámetros fisicoquímicos al término de la fase experimental.

### **3.6.1 Procedimiento para la obtención de la muestra**

- ✓ Se determinó el ámbito espacial del trabajo de investigación para realizar la visita y toma de muestra en campo.
- ✓ Se realizó las coordinaciones con los encargados de la PTAR María Reich explicando el motivo de la investigación.
- ✓ Se procedió a visitar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “María

Reiche”.

- ✓ Se recolectó aproximadamente de 75 – 80 litros de agua residual doméstica utilizando los EPP respectivos.
- ✓ Se procedió a trasladar la muestra al laboratorio (LAGEMA) para el análisis respectivo, considerando el protocolo del Vivienda y Saneamiento para su preservación.

### **3.6.2 Procedimiento del desarrollo experimental**

Antes de iniciar el ensayo de prueba de jarras en el laboratorio de la FIGAE-UNFV, se prepararon las soluciones correspondientes según se detalla a continuación:

- ✓ En primer lugar, se calcularon las soluciones al 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5% de concentración.
- ✓ Se pesaron respectivamente 0.5 g, 1.0 g, 1.5 g, 2.0 g y 2.5 g de  $Al_2(SO_4)_3$  en la balanza analítica sobre una luna de reloj de vidrio o un vaso de precipitado.
- ✓ Se prepararon dosis del sulfato de aluminio para mezclar con agua destilada en un vaso de precipitado y aforadas en una fiola hasta 100 ml.
- ✓ Se rotuló cada una de las fiolas con la concentración expresada en porcentaje.
- ✓ Se procedió a lavar con agua destilada cada una de las jarras que serán empleadas en el floculador.
- ✓ Se midió exactamente un litro de muestra de agua residual doméstica para cada una de las dosis calculadas en una probeta de 1 litro.
- ✓ Se realizó el vertimiento de la muestra medida en cada una de las jarras.
- ✓ Se realizaron tres corridas principales (por triplicado) por cada

concentración con dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml de coagulante ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) y con dos repeticiones para cada corrida.

- ✓ Se procedió a tomar los primeros 10 ml de solución de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  al 0.5% de concentración con una pipeta graduada, para ser añadida a la primera jarra de ensayo.
- ✓ Siguiendo el paso anterior se procedió a añadir las dosis siguientes para las cuatro jarras faltantes con 20, 30, 40 y 50 ml de dosis según su correspondencia y concentración de 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5%.
- ✓ Se colocaron las paletas de agitación dentro de las jarras, de manera que quedaran en el centro mismo de cada jarra y se ajustaron para proceder a su agitación.
- ✓ Se procedió a encender el equipo y programamos inicialmente una agitación a 50 RPM por 1 minuto, para homogenizar la solución del coagulante y la muestra.
- ✓ Se programó un tiempo de 30 minutos para la mezcla final a una velocidad de 200 RPM.
- ✓ Una vez concluido el tiempo, se retiraron los agitadores de las jarras del equipo para iniciar el proceso de decantación por 20 minutos.
- ✓ Una vez terminado el proceso de sedimentación, se extrajeron 200 ml de la muestra de agua residual tratada en frascos de plástico esterilizados, uno por cada jarra y replicas respectivas, con el objeto de obtener una muestra de cada dosis que se ha empleado en cada una de las jarras, y realizar las mediciones y análisis en los parámetros de pH, DQO y DBO.
- ✓ Se realizaron dos repeticiones adicionales a la primera corrida con las dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml y concentraciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y

2.5%.

### 3.6.3 *Medición de Parámetro Fisicoquímicos*

La medición de los parámetros fisicoquímicos se realizó inicialmente en campo y luego y en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE, al término de la fase experimental. A continuación, se muestra el procedimiento desarrollado para las mediciones y determinación de los parámetros seleccionados.

- Temperatura, pH y Conductividad
  - ✓ Se tuvo que comprobar inicialmente que el medidor multiparamétrico se encuentre calibrado para cada parámetro a medir o determinar, motivo por el cual se tuvo que calibrar utilizando los Buffer de 4 y 7 para pH; y Cloruro de potasio de 0.1 N para la Conductividad Eléctrica.
  - ✓ Se procedió a lavar los sensores del medidor multiparamétrico con agua destilada.
  - ✓ Se colocó inicialmente el sensor de pH hasta la mitad de la muestra de agua residual y se esperó un tiempo determinado a que se establezca la lectura.
  - ✓ Se anotaron los valores de pH y temperatura mostrados en la pantalla digital del medidor multiparamétrico.
  - ✓ Se realizaron las mismas lecturas para cada una de las muestras con las dosis de coagulantes terminada por cada corrida experimental.
  - ✓ Se realizaron 3 lecturas para la determinación del parámetro de pH y temperatura final, y se procedió a obtener un promedio.
  - ✓ Seguidamente se procedió a medir las conductividades de la muestra

de agua residual con su sensor respectivo, previamente calibrado, teniendo las mismas consideraciones de manejo y medición que el sensor de pH.

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

- ✓ Se preparó una solución del reactivo de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado (200 ml) mezclado con sulfato de plata (2.03 g) y se dejó reposar por 24 horas hasta la disolución completa del soluto.
- ✓ Se procedió a preparar una solución de Dicromato de Potasio (2.554 g) con Ácido Sulfúrico concentrado (41.75 ml), y aforados a 250 ml con agua destilada.
- ✓ Se preparó una muestra “blanco” que será nuestra línea de base para el uso del colorímetro, empleando agua destilada.
- ✓ Se consideró trabajar con una pipeta automática para medir volúmenes de 2.5, 1.5 y 3.5 ml de muestra en tubos de ensayo con tapa y viales de 15 ml de capacidad, para ser llevados posteriormente al colorímetro.
- ✓ Se Agregó 2,5 ml de agua residual doméstica al vial o tubo de ensayo.
- ✓ Seguidamente se agregó 1,5 ml de la solución de digestión de dicromato de Potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) en medio ácido.
- ✓ Posteriormente se adicionó 3,5 ml del reactivo Ácido Sulfúrico.
- ✓ A continuación, se procedió a tapar los viales y se colocaron en el reactor para su digestión.
- ✓ Seguidamente se retiraron los viales después de 2 horas de digestión, se dejó enfriar y se inició la primera lectura en el colorímetro con el

vial del “blanco”.

- ✓ Para mayor seguridad de los resultados se realizaron 3 lecturas seguidas para la determinación final del parámetro de Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- ✓ Finalmente se realizó el cálculo del promedio de los datos obtenidos en las tres lecturas y se procedió a la comparación con las normas existentes.

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

- ✓ Se preparó una solución tampón de fosfato (8,5 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 21,75 g de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 33,4 g de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , y 1,7 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  para 1 litro de agua desionizada), una solución de Sulfato de Magnesio (22.5 g/l), Cloruro de Calcio (27.5 g/l), Cloruro de Hierro (0.25 g/l).
- ✓ Se preparó un agua de dilución en un envase de 4 litros aproximadamente y se procedió a adicionar 4 ml de cada uno de los reactivos preparados anteriormente y se llevó a agitarlo y airearlo por 2 horas con una bomba de acuarios.
- ✓ Se tomaron alícuotas de 10, 20 y 30 ml de agua residual y se llevaron a tres fioles de 1 litro, y se completaron con agua de dilución con agitación posterior.
- ✓ Seguidamente se llenaron los frascos de Oxígeno Disuelto (Winkler) de 300 ml para el día cero y el día cinco respectivamente.
- ✓ Se realizó la medida en los frascos del día cero con el Oxímetro y los frascos del día cinco fueron llevados a la incubadora por el tiempo indicado.

- ✓ Terminado el tiempo de incubación por cinco días se procedió a medir el Oxígeno Disuelto de cada una de las muestras.
- ✓ Finalmente se realizaron los cálculos respectivos con relación al Oxígeno Disuelto obtenido en el día cero con el día cinco, tomando en cuenta la diferencia entre ambas concentraciones y divididos entre el volumen diluido para cada alícuota tomada de manera particular.

### **3.7 Análisis de datos**

En el desarrollo del análisis de datos se llevará a cabo un análisis y descripción de cada una de las variables en estudio a partir de sus indicadores principales como la DQO y DBO, relacionados con las dosis del coagulante, para lo cual se utilizará el programa MINITAB. Se presentará la estadística descriptiva en tablas y gráficas, para la distribución de los datos y desarrollo de la prueba de normalidad se realizará una tabulación de datos cuantitativos de los indicadores en estudio en una matriz factorial de 2 x 3 (2 parámetros por 3 repeticiones), mediante el análisis de varianza (ANOVA), que incluye a su vez, el grado de significancia, todo esto con el propósito de conocer cuáles serán las dosis óptimas para la remoción de la DQO y DBO, y contrastar las hipótesis de investigación nula y alterna, en la toma de decisión de aceptarla o rechazarla.

## IV. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados de la caracterización del efluente doméstico, las concentraciones residuales de DQO y DBO después del tratamiento y las eficiencias finales alcanzadas en cada tratamiento.

### 4.1 CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE DOMESTICO

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica del Efluente Domestico tomado en la Planta de Tratamiento “María Reich” en el distrito de Miraflores. Para el análisis de los resultados estos fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles del D.S N° 003-2010-MINAM.

**Tabla 2**

Resultados iniciales de la caracterización del Efluente Doméstico.

MUESTRA	T (°C)	pH	CE (uS/cm)	TDS (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	SST (mg/l)	AyG (mg/l)
M-1	20.3	7.28	551	248.3	392.74	210.8	78	18.6
LMP*	< 35	6.5-8.5	-	-	200	100	150	20

(\*) Límite Máximo Permissible: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

De la Tabla 2, se puede apreciar que el Límite Máximo Permissible para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) exceden lo establecido en la norma con concentraciones de 392.74 y 210.8 mg/l respectivamente. Los parámetros de Temperatura (T), Potencial de Hidrógenos (pH), Sólidos Suspendedos Totales (SST) y Aceite y Grasa (AyG), se encuentran dentro de los niveles establecidos en la norma. Así mismo, es preciso indicar que los parámetros de Conductividad Eléctrica (C.E) y Sólidos Totales Disueltos (TDS) no cuentan con LMP para efluentes domésticos, de acuerdo a la normativa peruana.

## 4.2 RESULTADOS DE CONCENTRACIONES RESIDUALES DE DQO Y DBO

A fin de obtener las concentraciones residuales de DQO y DBO en los diferentes tratamientos realizados con Sulfato de Aluminio, se optó por trabajarlos con variadas dosis, de manera que se pueda conocer las eficiencias para cada caso en particular. Las dosis utilizadas en el tratamiento con sulfato de aluminio fueron de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5%, tanto para la remoción de la DQO como para la de DBO, el volumen de trabajo utilizado para todas las muestras fue de 1 litro, un tiempo de agitación de 30 minutos, 200 rpm y tiempo de sedimentación de 20 minutos. cada tratamiento fue realizado por triplicado, y se elaboraron tablas y figuras en función a los promedios obtenidos, con la finalidad de que se pueda observar el comportamiento asumido al añadir diferentes dosis de sulfato de aluminio

### 4.2.1 RESULTADOS PARA EL TRATAMIENTO DE LA DQO

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de la DQO con concentraciones de Sulfato de Aluminio al 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5%.

- **Concentración Residual de DQO con tratamiento al 0.5% de Sulfato de Aluminio**

**Tabla 3**

Concentraciones Residuales de DQO al 0.5% de  $Al_2(SO_4)_3$

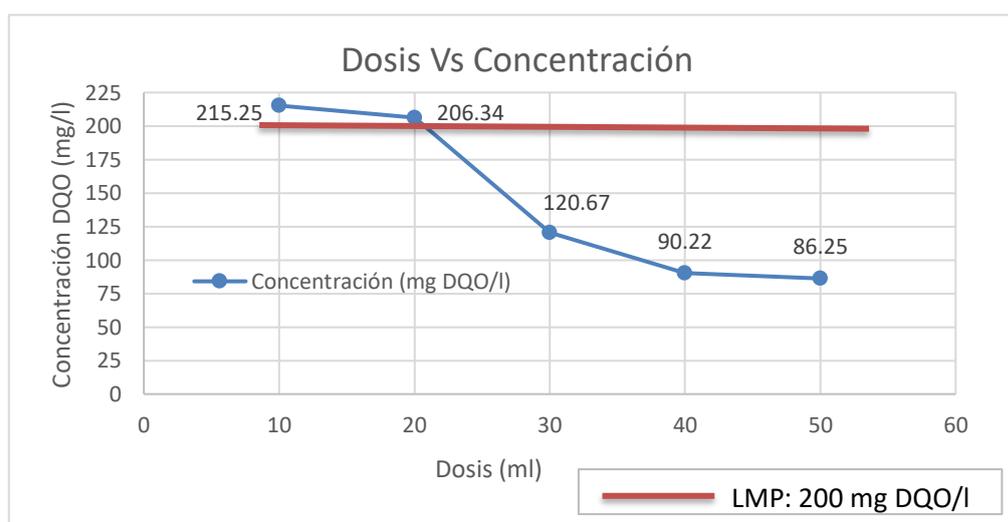
<b>MUESTRA</b>	<b><math>Al_2(SO_4)_3</math>: 0.5%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
pH Promedio	7.21	7.18	7.18	7.16	7.14
[ ] inicial (DQO)	<b>392.74 mg/l</b>				
<b>REPETICIONES</b>	<b>Concentración de DQO (mg/l)</b>				
1	217.36	206.45	121.88	92.12	87.25
2	215.24	204.23	119.67	90.24	86.15
3	213.15	208.34	120.46	88.31	88.35

[ ] Final Promedio (DQO)	215.25	206.34	120.67	90.22	86.25
--------------------------	--------	--------	--------	-------	-------

En la Tabla 3, se muestran los resultados obtenidos de la DQO, al ser trabajados con la concentración al 0.5% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml. El tratamiento se realizó por triplicado para todas las dosis, mostrándose al final el promedio obtenido, y con relación a los niveles de pH, estos fueron disminuyendo según se añadían las dosis de Sulfato de Aluminio siendo su último valor alcanzado para la dosis de 50 ml de 7.14.

**Figura 1**

Comportamiento de la DQO al 0.5% de Sulfato de Aluminio



De la Figura 1, se aprecia que el comportamiento de la DQO para el primer ensayo muestra un descenso de sus concentraciones para cada una de las dosis consideradas de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, donde se puede apreciar una reducción significativa desde 392.74 hasta 86.25 mg/l, presentándose una remoción total para este primer tratamiento de 306.49 mg/l. De acuerdo con el resultado obtenido la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml y 30 minutos de tiempo de contacto, sin embargo, pese a haber alcanzado una remoción importante en todos los casos, para las dos primeras dosis no se alcanza a cumplir con el

Límite Máximo Permissible normado en 200 mg/l, caso contrario, se puede apreciar que, para las dosis de 30, 40 y 50 ml si se llega a dar cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles.

- **Concentración Residual de DQO con tratamiento al 1% de Sulfato de Aluminio**

**Tabla 4**

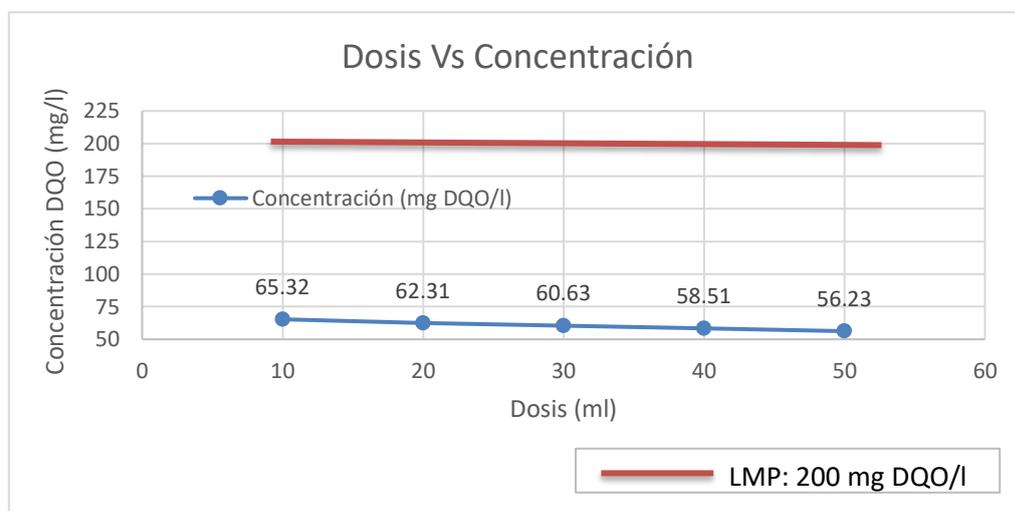
Concentraciones Residuales de DQO al 1% de  $Al_2(SO_4)_3$

<b>MUESTRA</b>	<b><math>Al_2(SO_4)_3</math>: 1%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
pH	7.01	6.85	6.79	6.65	6.50
[ ] inicial (DQO)	<b>392.74 mg/l</b>				
<b>REPETICIONES</b>	<b>Concentración de DQO (mg/l)</b>				
1	65.21	63.21	58.61	59.42	54.33
2	63.33	61.31	62.43	57.51	58.24
3	67.42	62.42	60.85	58.61	56.12
[ ] Final Promedio (DQO)	65.32	62.31	60.63	58.51	56.23

En la Tabla 4, se muestran los resultados obtenidos de la DQO, al ser trabajados con la concentración al 1% de  $Al_2(SO_4)_3$  y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml. El tratamiento se realizó por triplicado para todas las dosis, mostrándose al final el promedio obtenido, y en relación a los niveles de pH, estos fueron disminuyendo según se añadían las dosis de Sulfato de Aluminio, siendo su último valor alcanzado para la dosis de 50 ml de 6.50.

**Figura 2**

Comportamiento de la DQO al 1% de Sulfato de Aluminio



De la Figura 2, se aprecia que el comportamiento de la DQO para el segundo ensayo muestra un descenso de sus concentraciones para cada una de las dosis consideradas de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, donde se puede apreciar una reducción significativa desde 392.74 hasta 56.23 mg/l, presentándose una remoción total para este segundo tratamiento de 336.51 mg/l. De acuerdo al resultado obtenido la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml y 30 minutos de tiempo de contacto, de igual manera se aprecia que para todas las dosis aplicadas se alcanza a cumplir con el Límite Máximo Permisible normado en 200 mg/l.

- **Concentración Residual de DQO con tratamiento al 1.5% de Sulfato de Aluminio**

**Tabla 5**Concentraciones Residuales de DQO al 1.5% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 

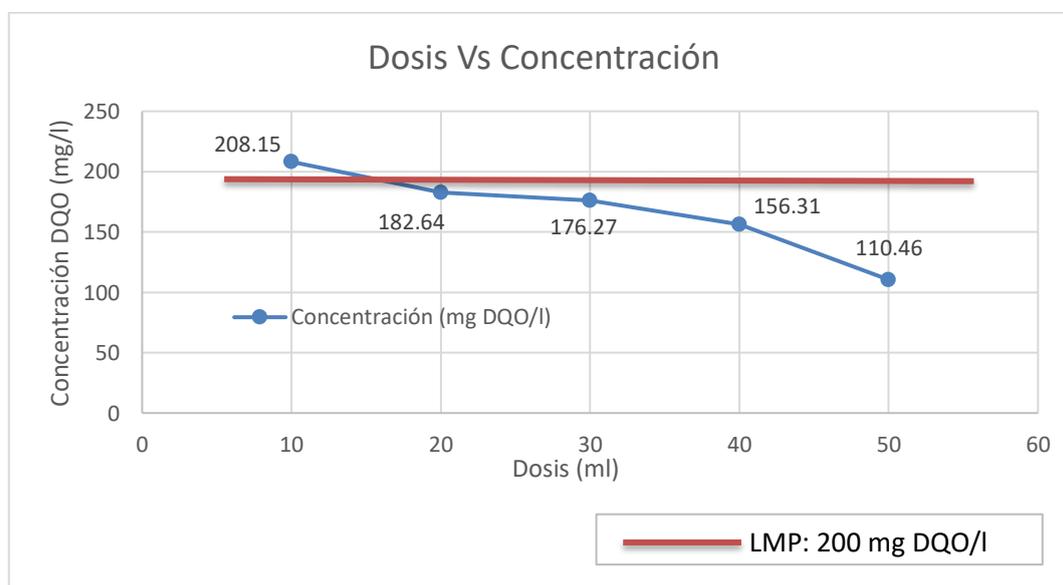
MUESTRA	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ : 1.5%				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	6.41	6.22	5.91	5.45	5.14
[ ] inicial (DQO)	392.74 mg/l				

REPETICIONES	Concentración de DQO (mg/l)				
1	210.06	183.64	174.29	158.21	112.35
2	208.24	181.43	178.37	156.42	108.47
3	206.15	182.85	176.15	154.31	110.56
[ ] Final Promedio (DQO)	208.15	182.64	176.27	156.31	110.46

En la Tabla 5, se muestran los resultados obtenidos de la DQO, al ser trabajados con la concentración al 1.5% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml. El tratamiento se realizó por triplicado para todas las dosis, mostrándose al final el promedio obtenido, y en relación a los niveles de pH, estos fueron disminuyendo según se añadían las dosis de Sulfato de Aluminio siendo su último valor alcanzado para la dosis de 50 ml de 5.14.

### Figura 3

Comportamiento de la DQO al 1.5% de Sulfato de Aluminio



De la Figura 3, se aprecia que el comportamiento de la DQO para el tercer ensayo muestra un descenso de sus concentraciones para cada una de las dosis consideradas de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, donde se puede apreciar una reducción significativa desde 392.74 hasta

110.46 mg/l, presentándose una remoción total para este tercer tratamiento de 282.28 mg/l. De acuerdo al resultado obtenido la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml y 30 minutos de tiempo de contacto, sin embargo, pese a haber alcanzado una remoción importante en todos los casos, para la primera dosis de 10 ml no se alcanza a cumplir con el Límite Máximo Permisible normado en 200 mg/l, caso contrario, se puede apreciar que, para las dosis de 20, 30, 40 y 50 ml si se llega a dar cumplimiento con los Límites Máximos Permisibles.

- **Concentración Residual de DQO con tratamiento al 2% de Sulfato de Aluminio**

**Tabla 6**

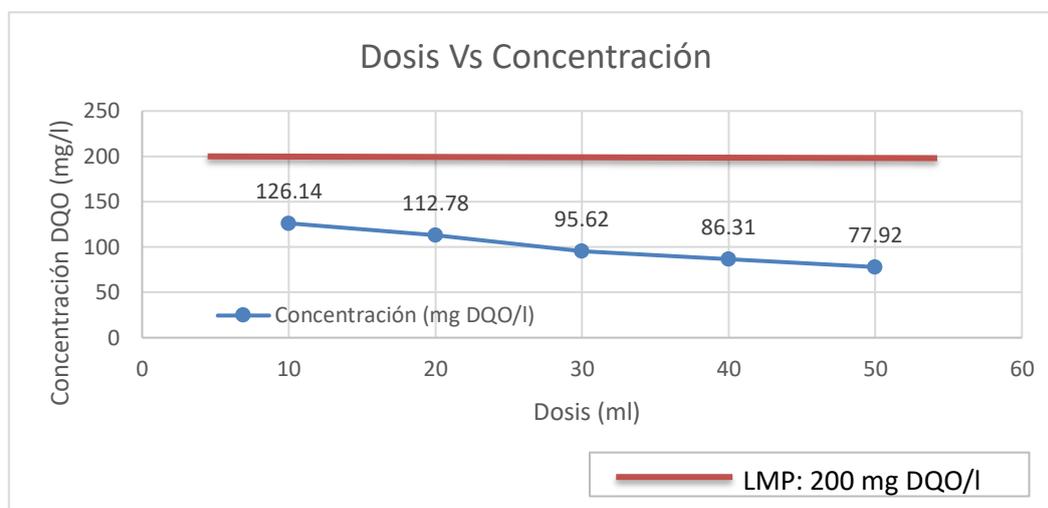
Concentraciones Residuales de DQO al 2% de  $Al_2(SO_4)_3$

<b>MUESTRA</b>	<b><math>Al_2(SO_4)_3</math>: 2%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
pH	5.92	5.42	5.03	4.82	4.51
[ ] inicial (DQO)	<b>392.74 mg/l</b>				
<b>REPETICIONES</b>	<b>Concentración de DQO (mg/l)</b>				
1	124.13	114.58	96.72	83.11	79.92
2	128.14	112.96	94.51	89.31	75.93
3	126.25	110.79	95.63	86.52	77.81
[ ] Final Promedio (DQO)	126.14	112.78	95.62	86.31	77.92

En la Tabla 6, se muestran los resultados obtenidos de la DQO, al ser trabajados con la concentración al 2% de  $Al_2(SO_4)_3$  y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml. El tratamiento se realizó por triplicado para todas las dosis, mostrándose al final el promedio obtenido, y en relación a los niveles de pH, estos fueron disminuyendo según se añadían las dosis de Sulfato de Aluminio siendo su último valor alcanzado para la dosis de 50 ml de 4.51.

**Figura 4**

Comportamiento de la DQO al 2% de Sulfato de Aluminio



De la Figura 4, se aprecia que el comportamiento de la DQO para el cuarto ensayo muestra un descenso de sus concentraciones para cada una de las dosis consideradas de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, donde se puede apreciar una reducción significativa desde 392.74 hasta 77.92 mg/l, presentándose una remoción total para este cuarto tratamiento de 314.92 mg/l. De acuerdo al resultado obtenido la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml y 30 minutos de tiempo de contacto, de igual manera se aprecia que para todas las dosis aplicadas se alcanza a cumplir con el Límite Máximo Permisible normado en 200 mg/l.

- **Concentración Residual de DQO con tratamiento al 2.5% de Sulfato de Aluminio**

**Tabla 7**Concentraciones Residuales de DQO al 2.5% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 

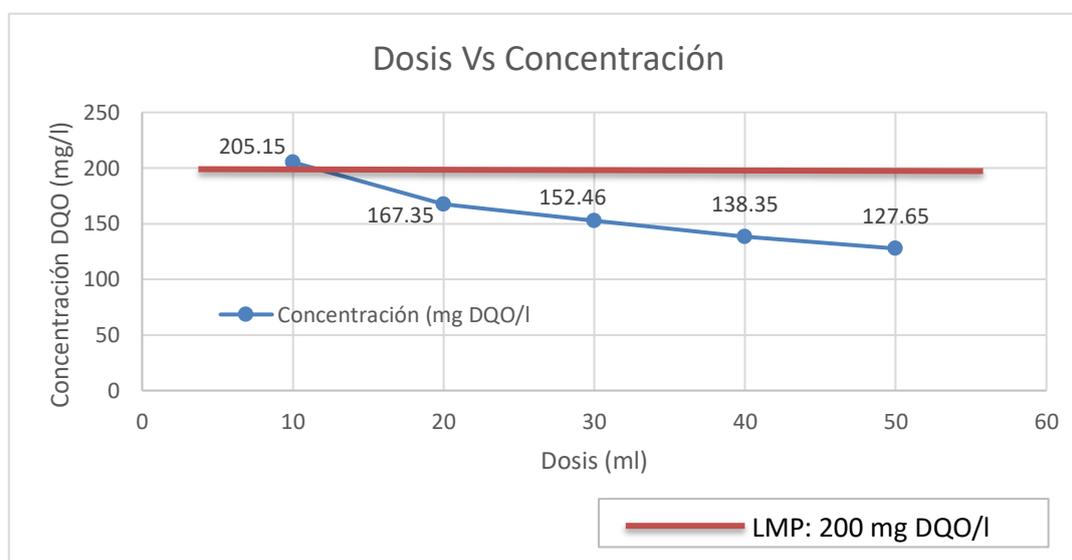
MUESTRA	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ : 2.5%				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	5.86	5.35	4.96	4.68	4.35
[ ] inicial (DQO)	392.74 mg/l				

REPETICIONES	Concentración de DQO (mg/l)				
1	174.15	169.35	152.46	136.35	127.54
2	172.15	165.35	154.46	140.35	128.75
3	176.15	167.35	150.46	138.35	126.66
[ ] Final Promedio (DQO)	205.15	167.35	152.46	138.35	127.65

En la Tabla 7, se muestran los resultados obtenidos de la DQO, al ser trabajados con la concentración al 2.5% de  $Al_2(SO_4)_3$  y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml. El tratamiento se realizó por triplicado para todas las dosis, mostrándose al final el promedio obtenido, y en relación a los niveles de pH, estos fueron disminuyendo según se añadían las dosis de Sulfato de Aluminio siendo su último valor alcanzado para la dosis de 50 ml de 4.35.

### Figura 5

Comportamiento de la DQO al 2.5% de Sulfato de Aluminio



De la Figura 5, se aprecia que el comportamiento de la DQO para el quinto ensayo muestra un descenso de sus concentraciones para cada una de las dosis consideradas de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, donde se puede apreciar una reducción significativa desde 392.74 hasta 127.65 mg/l, presentándose una remoción total para este quinto tratamiento de 265.09 mg/l.

De acuerdo al resultado obtenido la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml y 30 minutos de tiempo de contacto, sin embargo, pese a haber alcanzado una remoción importante en todos los casos, para la primera dosis de 10 ml no se alcanza a cumplir con el Límite Máximo Permisible normado en 200 mg/l, caso contrario, se puede apreciar que, para las dosis de 20, 30, 40 y 50 ml si se llega a dar cumplimiento con los Límites Máximos Permisibles.

#### 4.2.2 RESULTADOS PARA EL TRATAMIENTO DE LA DBO

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la remoción de la DBO con concentraciones de Sulfato de Aluminio al 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5%.

- **Concentración Residual de DBO con tratamiento al 0.5% de Sulfato de Aluminio**

**Tabla 8**

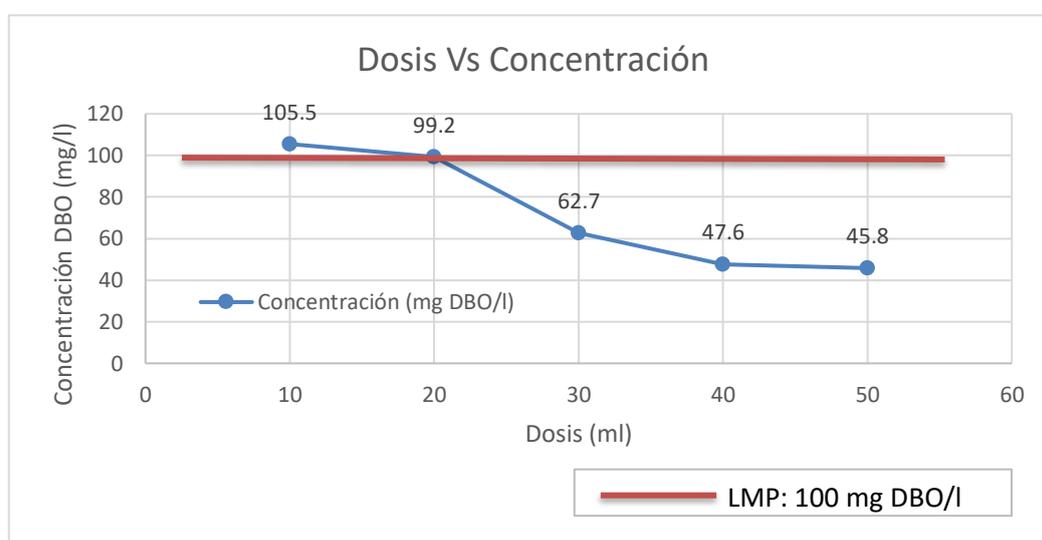
Concentraciones Residuales de DBO al 0.5% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

<b>MUESTRA</b>	<b><math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math>: 0.5%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
pH	7.21	7.18	7.18	7.16	7.14
[ ] inicial (DBO)	<b>210.8 mg/l</b>				
<b>REPETICIONES</b>	<b>Concentración de DBO (mg/l)</b>				
1	103.5	100.1	60.8	45.5	46.7
2	105.3	98.3	62.7	49.6	45.9
3	107.4	99.2	64.6	47.7	44.8
[ ] Final Promedio (DBO)	105.5	99.2	62.7	47.6	45.8

En la Tabla 8, se muestran los resultados obtenidos de la DBO, al ser trabajados con la concentración al 0.5% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml. El tratamiento se realizó por triplicado para todas las dosis, mostrándose al final el promedio obtenido, y en relación con los niveles de pH, estos fueron disminuyendo según se añadían las dosis de Sulfato de Aluminio siendo su último valor alcanzado para la dosis de 50 ml de 7.14.

### Figura 6

Comportamiento de la DBO al 0.5% de Sulfato de Aluminio



De la Figura 6, se aprecia que el comportamiento de la DBO para el primer ensayo muestra un descenso de sus concentraciones para cada una de las dosis consideradas de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, donde se puede apreciar una reducción significativa desde 210.8 hasta 45.8 mg/l, presentándose una remoción total para este primer tratamiento de 165 mg/l. De acuerdo al resultado obtenido la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml y 30 minutos de tiempo de contacto, sin embargo, pese a haber alcanzado una remoción importante en todos los casos, para la primera dosis de 10 ml no se alcanza a cumplir con el Límite Máximo Permissible normado en 100 mg/l, caso contrario, se puede apreciar que, para las dosis de 20, 30, 40 y 50 ml si se llega a dar cumplimiento con los Límites Máximos

Permisibles.

- **Concentración Residual de DBO con tratamiento al 1% de Sulfato de Aluminio**

**Tabla 9**

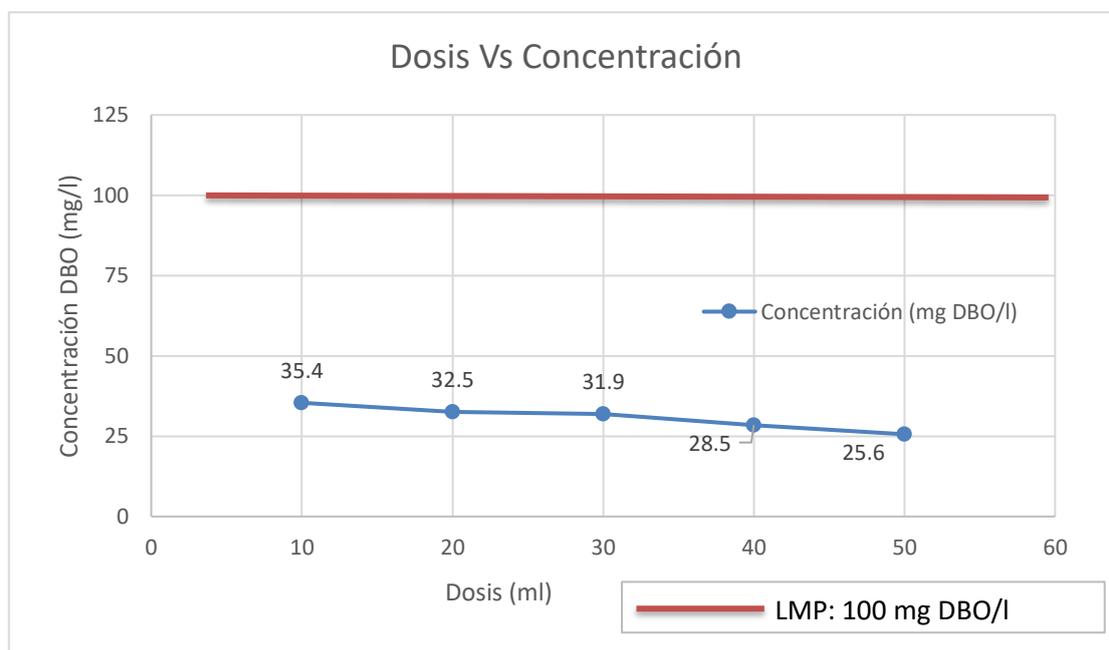
Concentraciones Residuales de DBO al 1% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

<b>MUESTRA</b>		<b><math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math>: 1%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	
pH	7.01	6.85	6.79	6.65	6.50	
[ ] inicial (DBO)	<b>210.8 mg/l</b>					
<b>REPETICIONES</b>	<b>Concentración de DBO (mg/l)</b>					
1	34.3	31.6	30.8	27.6	26.7	
2	36.4	33.5	32.9	29.5	25.5	
3	35.5	32.4	31.9	28.4	24.6	
[ ] Final Promedio (DBO)	35.4	32.5	31.9	28.5	25.6	

En la Tabla 9, se muestran los resultados obtenidos de la DBO, al ser trabajados con la concentración al 1% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml. El tratamiento se realizó por triplicado para todas las dosis, mostrándose al final el promedio obtenido, y en relación a los niveles de pH, estos fueron disminuyendo según se añadían las dosis de Sulfato de Aluminio siendo su último valor alcanzado para la dosis de 50 ml de 6.50.

**Figura 7**

Comportamiento de la DBO al 1% de Sulfato de Aluminio



De la Figura 7, se aprecia que el comportamiento de la DBO para el segundo ensayo muestra un descenso de sus concentraciones para cada una de las dosis consideradas de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, donde se puede apreciar una reducción significativa desde 210.8 hasta 25.6 mg/l, presentándose una remoción total para este segundo tratamiento de 185.2 mg/l. De acuerdo al resultado obtenido la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml y 30 minutos de tiempo de contacto, de igual manera se aprecia que para todas las dosis aplicadas se alcanza a cumplir con el Límite Máximo Permissible normado en 100 mg/l.

- **Concentración Residual de DBO con tratamiento al 1.5% de Sulfato de Aluminio**

**Tabla 10**Concentraciones Residuales de DBO al 1.5% de  $Al_2(SO_4)_3$ 

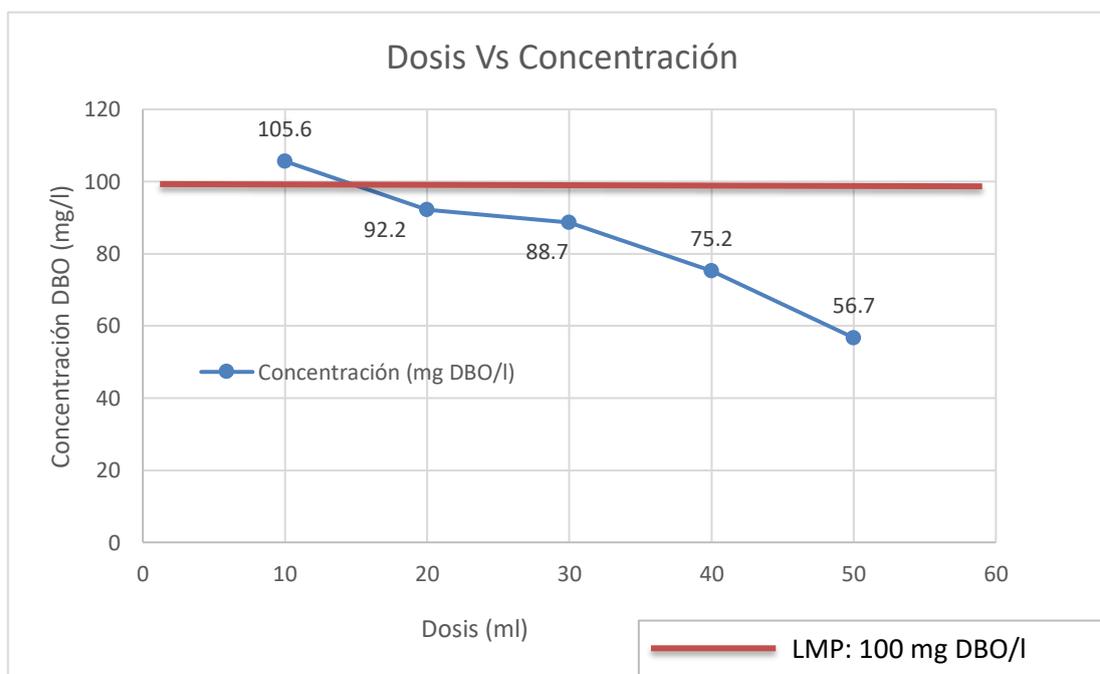
MUESTRA	$Al_2(SO_4)_3$ : 1.5%
---------	-----------------------

Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	6.41	6.22	5.91	5.45	5.14
[ ] inicial (DBO)	210.8 mg/l				
<b>REPETICIONES</b>	<b>Concentración de DBO (mg/l)</b>				
1	103.6	91.1	89.6	74.2	57.6
2	107.5	93.3	87.7	76.1	56.7
3	105.7	92.2	88.8	75.3	55.7
[ ] Final Promedio (DBO)	105.6	92.2	88.7	75.2	56.7

En la Tabla 10, se muestran los resultados obtenidos de la DBO, al ser trabajados con la concentración al 1.5% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml. El tratamiento se realizó por triplicado para todas las dosis, mostrándose al final el promedio obtenido, y en relación a los niveles de pH, estos fueron disminuyendo según se añadían las dosis de Sulfato de Aluminio siendo su último valor alcanzado para la dosis de 50 ml de 5.14.

### Figura 8

Comportamiento de la DBO al 1.5% de Sulfato de Aluminio



De la Figura 8, se aprecia que el comportamiento de la DBO para el tercer ensayo muestra un descenso de sus concentraciones para cada una de las dosis consideradas de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, donde se puede apreciar una reducción significativa desde 210.8 hasta 56.7 mg/l, presentándose una remoción total para este tercer tratamiento de 154.1 mg/l. De acuerdo al resultado obtenido la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml y 30 minutos de tiempo de contacto, sin embargo, pese a haber alcanzado una remoción importante en todos los casos, para la primera dosis de 10 ml no se alcanza a cumplir con el Límite Máximo Permisible normado en 100 mg/l, caso contrario, se puede apreciar que, para las dosis de 20, 30, 40 y 50 ml si se llega a dar cumplimiento con los Límites Máximos Permisibles.

- **Concentración Residual de DBO con tratamiento al 2% de Sulfato de Aluminio**

**Tabla 11**

Concentraciones Residuales de DBO al 2% de  $Al_2(SO_4)_3$

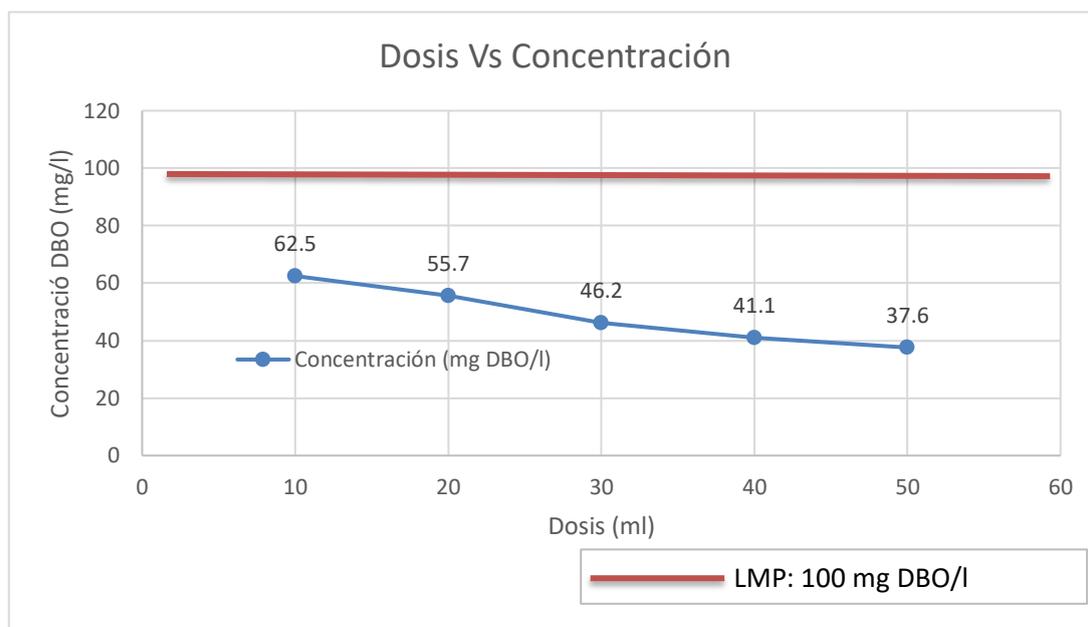
<b>MUESTRA</b>	<b><math>Al_2(SO_4)_3</math>: 2%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
pH	5.92	5.42	5.03	4.82	4.51
[ ] inicial (DBO)	<b>210.8 mg/l</b>				
<b>REPETICIONES</b>	<b>Concentración de DBO (mg/l)</b>				
1	60.4	56.7	47.1	40.2	38.7
2	62.6	54.8	45.2	42.1	37.5
3	64.5	55.6	46.3	41.1	36.6
[ ] Final Promedio (DBO)	62.5	55.7	46.2	41.1	37.6

En la Tabla 11, se muestran los resultados obtenidos de la DBO, al ser trabajados con la concentración al 2% de  $Al_2(SO_4)_3$  y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml. El tratamiento se realizó por triplicado para todas las dosis, mostrándose al final el promedio obtenido, y en

relación a los niveles de pH, estos fueron disminuyendo según se añadían las dosis de Sulfato de Aluminio siendo su último valor alcanzado para la dosis de 50 ml de 4.51.

**Figura 9**

Comportamiento de la DBO al 2% de Sulfato de Aluminio



De la Figura 9, se aprecia que el comportamiento de la DBO para el cuarto ensayo muestra un descenso de sus concentraciones para cada una de las dosis consideradas de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, donde se puede apreciar una reducción significativa desde 210.8 hasta 37.6 mg/l, presentándose una remoción total para este cuarto tratamiento de 173.2 mg/l. De acuerdo al resultado obtenido la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml y 30 minutos de tiempo de contacto, de igual manera se aprecia que para todas las dosis aplicadas se alcanza a cumplir con el Límite Máximo Permisible normado en 100 mg/l.

- **Concentración Residual de DBO con tratamiento al 2.5% de Sulfato de Aluminio**

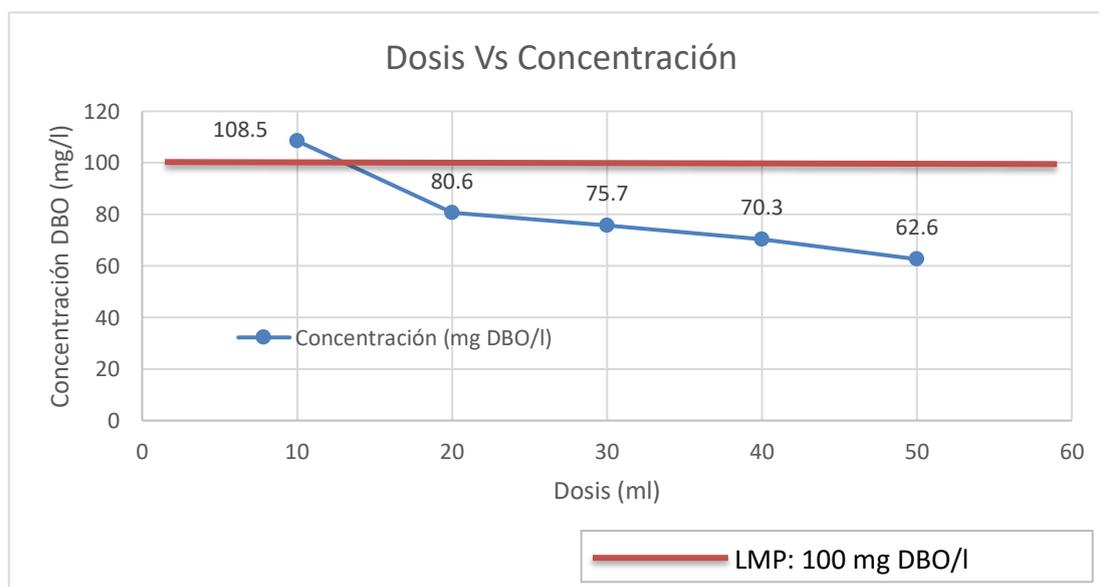
**Tabla 12**Concentraciones Residuales de DBO al 2.5% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 

<b>MUESTRA</b>		<b><math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math>: 2.5%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	
pH	5.86	5.35	4.96	4.68	4.35	
[ ] inicial (DBO)	<b>210.8 mg/l</b>					
<b>REPETICIONES</b>		<b>Concentración de DBO (mg/l)</b>				
1	106.4	82.5	76.6	69.2	63.5	
2	108.6	80.7	74.7	71.4	61.7	
3	110.5	78.6	75.8	70.3	62.6	
[ ] Final Promedio (DBO)	108.5	80.6	75.7	70.3	62.6	

En la Tabla 12, se muestran los resultados obtenidos de la DBO, al ser trabajados con la concentración al 2.5% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml. El tratamiento se realizó por triplicado para todas las dosis, mostrándose al final el promedio obtenido, y en relación a los niveles de pH, estos fueron disminuyendo según se añadían las dosis de Sulfato de Aluminio siendo su último valor alcanzado para la dosis de 50 ml de 4.35.

**Figura 10**

Comportamiento de la DBO al 2.5% de Sulfato de Aluminio



De la Figura 10, se aprecia que el comportamiento de la DBO para el quinto ensayo muestra un descenso de sus concentraciones para cada una de las dosis consideradas de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, donde se puede apreciar una reducción significativa desde 210.8 hasta 62.6 mg/l, presentándose una remoción total para este quinto tratamiento de 148.2 mg/l. De acuerdo al resultado obtenido la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml y 30 minutos de tiempo de contacto, sin embargo, pese a haber alcanzado una remoción importante en todos los casos, para la primera dosis de 10 ml no se alcanza a cumplir con el Límite Máximo Permisible normado en 100 mg/l, caso contrario, se puede apreciar que, para las dosis de 20, 30, 40 y 50 ml si se llega a dar cumplimiento con los Límites Máximos Permisibles.

### 4.3 EFICIENCIAS ALCANZADAS PARA LA REMOCIÓN DE DQO Y DBO

#### 4.3.1 Eficiencias del tratamiento con Sulfato de Aluminio para DQO.

- Eficiencias al 0.5% con Sulfato de Aluminio

El cálculo de las eficiencias al 0.5%, se determinó considerando la concentración inicial de la DQO y las concentraciones finales para las dosis de trabajo de 10, 20, 30, 40 y 50 ml.

**Tabla 13**

Eficiencias alcanzadas para DQO al 0.5% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

<b>MUESTRA</b>	<b><math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math>: 0.5%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
pH	7.21	7.18	7.18	7.16	7.14
[ ] inicial DQO (mg/l)	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>
[ ] Final Promedio DQO (mg/l)	215.25	206.34	120.67	90.22	86.25
<b>% Eficiencia</b>	<b>45.2</b>	<b>47.5</b>	<b>69.3</b>	<b>77.0</b>	<b>78.0</b>

De acuerdo con los resultados obtenidos para las cinco dosis consideradas en el tratamiento se puede observar que las eficiencias van variando según las dosis añadidas de Sulfato de Aluminio, donde se aprecia que la mayor eficiencia se logra alcanzar con la dosis de 50 ml obteniéndose el 78%.

- Eficiencias al 1% con Sulfato de Aluminio

El cálculo de las eficiencias al 1%, se determinó considerando la concentración inicial de la DQO y las concentraciones finales para las dosis de trabajo de 10, 20, 30, 40 y 50 ml.

**Tabla 14**

Eficiencias alcanzadas para DQO al 1% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

<b>MUESTRA</b>	<b><math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math>: 1%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
pH	7.01	6.85	6.79	6.65	6.50
[ ] inicial DQO (mg/l)	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>
[ ] Final Promedio DQO (mg/l)	65.32	62.31	60.63	58.51	56.23
<b>% Eficiencia</b>	<b>83.4</b>	<b>84.1</b>	<b>84.6</b>	<b>85.1</b>	<b>85.7</b>

De acuerdo con los resultados obtenidos para las cinco dosis consideradas en el tratamiento se puede observar que las eficiencias van variando según las dosis añadidas de Sulfato de Aluminio, donde se aprecia que la mayor eficiencia se logra alcanzar con la dosis de 50 ml obteniéndose el 85.7%.

- Eficiencias al 1.5% con Sulfato de Aluminio

El cálculo de las eficiencias al 1.5%, se determinó considerando la concentración inicial de la DQO y las concentraciones finales para las dosis de trabajo de 10, 20, 30, 40 y 50 ml.

**Tabla 15**Eficiencias alcanzadas para DQO al 1.5% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 

<b>MUESTRA</b>	<b><math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math>: 1.5%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
pH	6.41	6.22	5.91	5.45	5.14
[ ] inicial DQO (mg/l)	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>
[ ] Final Promedio DQO (mg/l)	208.15	182.64	176.27	156.31	110.46
<b>% Eficiencia</b>	<b>47.0</b>	<b>53.5</b>	<b>55.1</b>	<b>60.2</b>	<b>71.9</b>

De acuerdo con los resultados obtenidos para las cinco dosis consideradas en el tratamiento se puede observar que las eficiencias van variando según las dosis añadidas de Sulfato de Aluminio, donde se aprecia que la mayor eficiencia se logra alcanzar con la dosis de 50 ml obteniéndose el 71.9%.

- Eficiencias al 2% con Sulfato de Aluminio

El cálculo de las eficiencias al 2%, se determinó considerando la concentración inicial de la DQO y las concentraciones finales para las dosis de trabajo de 10, 20, 30, 40 y 50 ml.

**Tabla 16**Eficiencias alcanzadas para DQO al 2% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 

<b>MUESTRA</b>	<b><math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math>: 2%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
pH	5.92	5.42	5.03	4.82	4.51
[ ] inicial DQO (mg/l)	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>
[ ] Final Promedio DQO (mg/l)	126.14	112.78	95.62	86.31	77.92
<b>% Eficiencia</b>	<b>67.9</b>	<b>71.3</b>	<b>75.7</b>	<b>78.0</b>	<b>80.2</b>

De acuerdo con los resultados obtenidos para las cinco dosis consideradas en el tratamiento se puede observar que las eficiencias van variando según las dosis añadidas de Sulfato de Aluminio, donde se aprecia que la mayor eficiencia se logra alcanzar con la dosis de 50 ml obteniéndose el 80.2%.

- Eficiencias al 2.5% con Sulfato de Aluminio

El cálculo de las eficiencias al 2.5%, se determinó considerando la concentración inicial de la DQO y las concentraciones finales para las dosis de trabajo de 10, 20, 30, 40 y 50 ml.

**Tabla 17**

Eficiencias alcanzadas para DQO al 2.5% de  $Al_2(SO_4)_3$

<b>MUESTRA</b>	<b><math>Al_2(SO_4)_3</math>: 2.5%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
pH	5.86	5.35	4.96	4.68	4.35
[ ] inicial DQO (mg/l)	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>	<b>392.74</b>
[ ] Final Promedio DQO (mg/l)	205.15	167.35	152.46	138.35	127.65
<b>% Eficiencia</b>	<b>47.8</b>	<b>57.4</b>	<b>61.2</b>	<b>64.8</b>	<b>67.5</b>

De acuerdo con los resultados obtenidos para las cinco dosis consideradas en el tratamiento se puede observar que las eficiencias van variando según las dosis añadidas de Sulfato de Aluminio, donde se aprecia que la mayor eficiencia se logra alcanzar con la dosis de 50 ml obteniéndose el 67.5%.

### 4.3.2 Eficiencias del tratamiento con Sulfato de Aluminio para DBO.

#### - Eficiencias al 0.5% con Sulfato de Aluminio

El cálculo de las eficiencias al 0.5%, se determinó considerando la concentración inicial de la DBO y las concentraciones finales para las dosis de trabajo de 10, 20, 30, 40 y 50 ml.

**Tabla 18**

Eficiencias alcanzadas para DBO al 0.5% de  $Al_2(SO_4)_3$

MUESTRA	$Al_2(SO_4)_3$ : 0.5%				
	10	20	30	40	50
Dosis (ml)					
pH	7.21	7.18	7.18	7.16	7.14
[ ] inicial DBO (mg/l)	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>
[ ] Final Promedio DBO (mg/l)	105.5	99.2	62.7	47.6	45.8
<b>% Eficiencia</b>	<b>50.0</b>	<b>52.9</b>	<b>70.3</b>	<b>77.4</b>	<b>78.3</b>

De acuerdo con los resultados obtenidos para las cinco dosis consideradas en el tratamiento se puede observar que las eficiencias van variando según las dosis añadidas de Sulfato de Aluminio, donde se aprecia que la mayor eficiencia se logra alcanzar con la dosis de 50 ml obteniéndose el 78.3%.

#### - Eficiencias al 1% con Sulfato de Aluminio

El cálculo de las eficiencias al 1%, se determinó considerando la concentración inicial de la DBO y las concentraciones finales para las dosis de trabajo de 10, 20, 30, 40 y 50 ml.

**Tabla 19**Eficiencias alcanzadas para DBO al 1% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 

<b>MUESTRA</b>	<b><math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math>: 1%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
pH	7.01	6.85	6.79	6.65	6.50
[ ] inicial DBO (mg/l)	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>
[ ] Final Promedio DBO (mg/l)	35.4	32.5	31.9	28.5	25.6
<b>% Eficiencia</b>	<b>83.2</b>	<b>84.6</b>	<b>84.9</b>	<b>86.5</b>	<b>87.9</b>

De acuerdo con los resultados obtenidos para las cinco dosis consideradas en el tratamiento se puede observar que las eficiencias van variando según las dosis añadidas de Sulfato de Aluminio, donde se aprecia que la mayor eficiencia se logra alcanzar con la dosis de 50 ml obteniéndose el 87.9%.

- Eficiencias al 1.5% con Sulfato de Aluminio

El cálculo de las eficiencias al 1.5%, se determinó considerando la concentración inicial de la DBO y las concentraciones finales para las dosis de trabajo de 10, 20, 30, 40 y 50 ml.

**Tabla 20**Eficiencias alcanzadas para DBO al 1.5% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 

<b>MUESTRA</b>	<b><math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math>: 1.5%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
pH	6.41	6.22	5.91	5.45	5.14
[ ] inicial DBO (mg/l)	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>
[ ] Final Promedio DBO (mg/l)	105.6	92.2	88.7	75.2	56.7
<b>% Eficiencia</b>	<b>49.9</b>	<b>56.3</b>	<b>57.9</b>	<b>64.3</b>	<b>73.1</b>

De acuerdo con los resultados obtenidos para las cinco dosis consideradas en el tratamiento se puede observar que las eficiencias van variando según las dosis añadidas de Sulfato de Aluminio, donde se aprecia que la mayor eficiencia se logra alcanzar con la dosis de 50 ml obteniéndose el 73.1%.

- Eficiencias al 2% con Sulfato de Aluminio

El cálculo de las eficiencias al 2%, se determinó considerando la concentración inicial de la DBO y las concentraciones finales para las dosis de trabajo de 10, 20, 30, 40 y 50 ml.

**Tabla 21**

Eficiencias alcanzadas para DBO al 2% de  $Al_2(SO_4)_3$

<b>MUESTRA</b>	<b><math>Al_2(SO_4)_3</math>: 2%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
pH	5.92	5.42	5.03	4.82	4.51
[ ] inicial DBO (mg/l)	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>
[ ] Final Promedio DBO (mg/l)	62.5	55.7	46.2	41.1	37.6
<b>% Eficiencia</b>	<b>70.4</b>	<b>73.6</b>	<b>78.1</b>	<b>80.5</b>	<b>82.2</b>

De acuerdo con los resultados obtenidos para las cinco dosis consideradas en el tratamiento se puede observar que las eficiencias van variando según las dosis añadidas de Sulfato de Aluminio, donde se aprecia que la mayor eficiencia se logra alcanzar con la dosis de 50 ml obteniéndose el 82.2%.

- Eficiencias al 2.5% con Sulfato de Aluminio

El cálculo de las eficiencias al 2.5%, se determinó considerando la concentración inicial de la DBO y las concentraciones finales para las dosis de trabajo de 10, 20, 30, 40 y 50 ml.

**Tabla 22**

Eficiencias alcanzadas para DBO al 2.5% de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

<b>MUESTRA</b>	<b><math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math>: 2.5%</b>				
Dosis (ml)	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
pH	5.86	5.35	4.96	4.68	4.35
[ ] inicial DBO (mg/l)	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>	<b>210.8</b>
[ ] Final Promedio DBO (mg/l)	108.5	80.6	75.7	70.3	62.6
<b>% Eficiencia</b>	<b>48.5</b>	<b>61.8</b>	<b>64.1</b>	<b>66.7</b>	<b>70.3</b>

De acuerdo con los resultados obtenidos para las cinco dosis consideradas en el tratamiento se puede observar que las eficiencias van variando según las dosis añadidas de Sulfato de Aluminio, donde se aprecia que la mayor eficiencia se logra alcanzar con la dosis de 50 ml obteniéndose el 70.3%.

#### 4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para poder analizar estadísticamente los datos obtenidos en los resultados de la investigación se agrupa de la siguiente manera según los parámetros a tomar en cuenta en la investigación:

**Tabla 23**

*Agrupación de Resultados según Tratamiento aplicado para remoción de la DBO*

TRATAMIENTO	DOSIS	REPETICIÓN	DBO (mg/l)	EFICIENCIA DE REMOCIÓN %
T1	D1	R1	103.5	50.9013
T1	D1	R2	105.3	50.0474
T1	D1	R3	107.4	49.0512
T1	D2	R1	100.1	52.5142
T1	D2	R2	98.3	53.3681
T1	D2	R3	99.2	52.9412
<b>T1</b>	<b>D3</b>	<b>R1</b>	<b>60.8</b>	<b>71.1575</b>
T1	D3	R2	62.7	70.2562
T1	D3	R3	64.6	69.3548
T1	D4	R1	45.5	78.4156
T1	D4	R2	49.6	76.4706
T1	D4	R3	47.7	77.3719
T1	D5	R1	46.7	77.8463
T1	D5	R2	45.9	78.2258
T1	D5	R3	44.8	78.7476
T2	D1	R1	34.3	83.7287
T2	D1	R2	36.4	82.7324
T2	D1	R3	35.5	83.1594
T2	D2	R1	31.6	85.0095
T2	D2	R2	33.5	84.1082
T2	D2	R3	32.4	84.6300
T2	D3	R1	30.8	85.3890
T2	D3	R2	32.9	84.3928
T2	D3	R3	31.9	84.8672
T2	D4	R1	27.6	86.9070
T2	D4	R2	29.5	86.0057
T2	D4	R3	28.4	86.5275
T2	D5	R1	26.7	87.3340
T2	D5	R2	25.5	87.9032

---

T2	D5	R3	24.6	88.3302
T3	D1	R1	103.6	50.8539
T3	D1	R2	107.5	49.0038
T3	D1	R3	105.7	49.8577
T3	D2	R1	91.1	56.7837
T3	D2	R2	93.3	55.7400
T3	D2	R3	92.2	56.2619
T3	D3	R1	89.6	57.4953
T3	D3	R2	87.7	58.3966
T3	D3	R3	88.8	57.8748
T3	D4	R1	74.2	64.8008
T3	D4	R2	76.1	63.8994
T3	D4	R3	75.3	64.2789
T3	D5	R1	57.6	72.6755
T3	D5	R2	56.7	73.1025
T3	D5	R3	55.7	73.5769
T4	D1	R1	60.4	71.3472
T4	D1	R2	62.6	70.3036
T4	D1	R3	64.5	69.4023
T4	D2	R1	56.7	73.1025
T4	D2	R2	54.8	74.0038
T4	D2	R3	55.6	73.6243
T4	D3	R1	47.1	77.6565
T4	D3	R2	45.2	78.5579
T4	D3	R3	46.3	78.0361
T4	D4	R1	40.2	80.9298
T4	D4	R2	42.1	80.0285
T4	D4	R3	41.1	80.5028
T4	D5	R1	38.7	81.6414
T4	D5	R2	37.5	82.2106
T4	D5	R3	36.6	82.6376
T5	D1	R1	106.4	49.5256
T5	D1	R2	108.6	48.4820
T5	D1	R3	110.5	47.5806
T5	D2	R1	82.5	60.8634
T5	D2	R2	80.7	61.7173
T5	D2	R3	78.6	62.7135
T5	D3	R1	76.6	63.6622
T5	D3	R2	74.7	64.5636
T5	D3	R3	75.8	64.0417
T5	D4	R1	69.2	67.1727
T5	D4	R2	71.4	66.1290
T5	D4	R3	70.3	66.6509
T5	D5	R1	63.5	69.8767
T5	D5	R2	61.7	70.7306

T5	D5	R3	62.6	70.3036
----	----	----	------	---------

**Tabla 24**

*Agrupación de Resultados según Tratamiento aplicado para remoción de la DQO*

TRATAMIENTO	DOSIS	REPETICIÓN	DQO (mg/l)	EFICIENCIA DE REMOCIÓN %
T1	D1	R1	217.36	44.655
T1	D1	R2	215.24	45.195
T1	D1	R3	213.15	45.727
T1	D2	R1	206.45	47.433
T1	D2	R2	204.23	47.999
T1	D2	R3	208.34	46.952
T1	D3	R1	121.88	68.967
T1	D3	R2	119.67	69.529
T1	D3	R3	120.46	69.328
T1	D4	R1	92.12	76.544
T1	D4	R2	90.24	77.023
T1	D4	R3	88.31	77.514
T1	D5	R1	87.25	77.784
T1	D5	R2	86.15	78.064
T1	D5	R3	88.35	77.504
T2	D1	R1	65.21	83.396
T2	D1	R2	63.33	83.875
T2	D1	R3	67.42	82.833
T2	D2	R1	63.21	83.905
T2	D2	R2	61.31	84.389
T2	D2	R3	62.42	84.107
T2	D3	R1	58.61	85.077
T2	D3	R2	62.43	84.104
T2	D3	R3	60.85	84.506
T2	D4	R1	59.42	84.870
T2	D4	R2	57.51	85.357
T2	D4	R3	58.61	85.077
T2	D5	R1	54.33	86.166
T2	D5	R2	58.24	85.171
T2	D5	R3	56.12	85.711
T3	D1	R1	210.06	46.514
T3	D1	R2	208.24	46.978
T3	D1	R3	206.15	47.510
T3	D2	R1	183.64	53.241
T3	D2	R2	181.43	53.804

T3	D2	R3	182.85	53.442
T3	D3	R1	174.29	55.622
T3	D3	R2	178.37	54.583
T3	D3	R3	176.15	55.148
T3	D4	R1	158.21	59.716
T3	D4	R2	156.42	60.172
T3	D4	R3	154.31	60.709
T3	D5	R1	112.35	71.393
T3	D5	R2	108.47	72.381
T3	D5	R3	110.56	71.849
T4	D1	R1	124.13	68.394
T4	D1	R2	128.14	67.373
T4	D1	R3	126.25	67.854
T4	D2	R1	114.58	70.825
T4	D2	R2	112.96	71.238
T4	D2	R3	110.79	71.790
T4	D3	R1	96.72	75.373
T4	D3	R2	94.51	75.936
T4	D3	R3	95.63	75.651
T4	D4	R1	83.11	78.838
T4	D4	R2	89.31	77.260
T4	D4	R3	86.52	77.970
T4	D5	R1	79.92	79.651
T4	D5	R2	75.93	80.667
T4	D5	R3	77.81	80.188
T5	D1	R1	174.15	55.658
T5	D1	R2	172.15	56.167
T5	D1	R3	176.15	55.148
T5	D2	R1	169.35	56.880
T5	D2	R2	165.35	57.898
T5	D2	R3	167.35	57.389
T5	D3	R1	152.46	61.180
T5	D3	R2	154.46	60.671
T5	D3	R3	150.46	61.690
T5	D4	R1	136.35	65.282
T5	D4	R2	140.35	64.264
T5	D4	R3	138.35	64.773
T5	D5	R1	127.54	67.526
T5	D5	R2	128.75	67.217
T5	D5	R3	126.66	67.750

---

Para determinar el DCA en la tabla 23 y 24 que corresponde a la aplicación del tratamiento y su afectación en la disminución de la DBO y DQO, procede a aplicar la prueba de normalidad Anderson Darling (AD) en lo cual se tiene:

✓ Prueba de Normalidad

Para la disminución de la DBO

Prueba de Normalidad para los errores (AD)

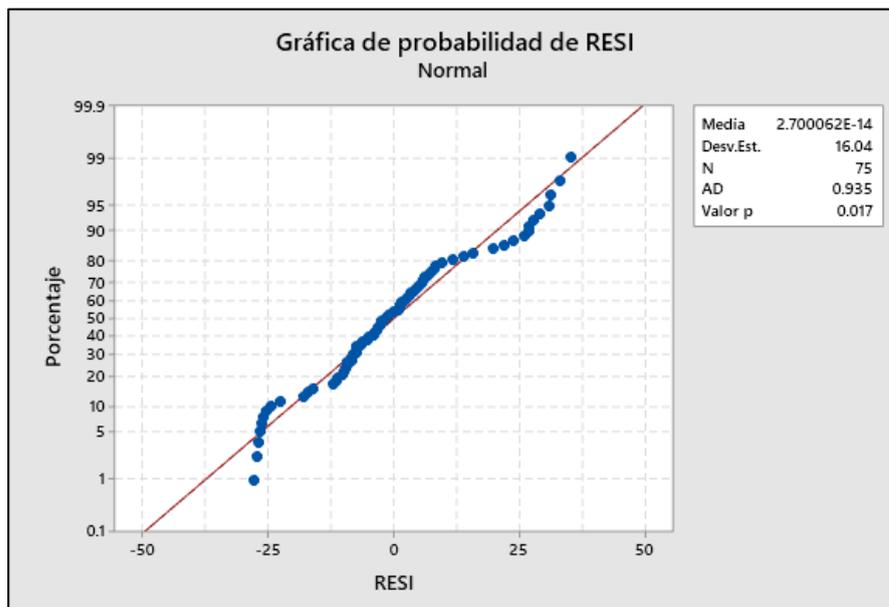
Se aplican los siguientes argumentos:

$H_0$ : Los residuos se distribuyen normalmente

$H_a$ : Los residuos no se distribuyen normalmente

**Figura 11**

*Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de DBO aplicando los tratamientos*



*Nota.* Elaborado en MINITAB, Versión 2019.

De lo calculado se obtiene que el valor  $p < 0.05$  como también el indicador (AD= 0.935) por consiguiente se rechaza la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores no presentan una distribución Normal, esto se debe que la experimentación presenta dispersión de datos.

Para la disminución de la DQO

Prueba de Normalidad para los errores (AD)

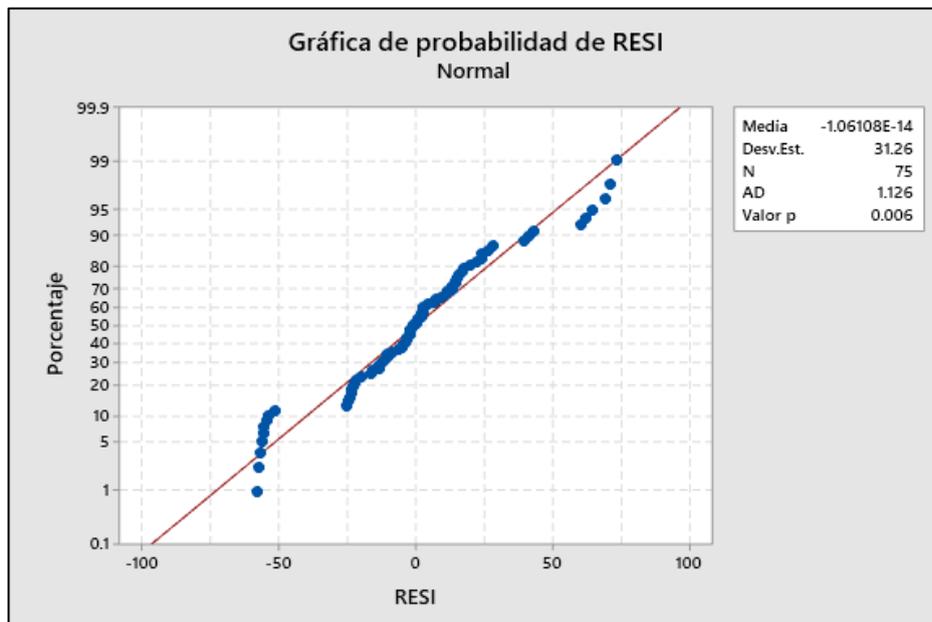
Se aplican los siguientes argumentos:

$H_0$ : Los residuos se distribuyen normalmente

$H_a$ : Los residuos no se distribuyen normalmente

### Figura 12

*Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de DQO aplicando los tratamientos*



*Nota:* Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo calculado se obtiene que el valor  $p < 0.05$ ) como también el indicador ( $AD=1.126$ ) por consiguiente se rechaza la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores no presentan una distribución Normal, esto se debe que la experimentación presenta dispersión de datos.

✓ Homogeneidad de Varianzas

Para ambos casos se plantea:

$H_0$ : Las varianzas son iguales

$H_a$ : Al menos una varianza es diferente

Para la disminución de la DBO

Calculando el índice de Levene = 7.07 y p valor = 0.000 < 0.05, se rechaza la hipótesis nula por consiguiente al menos una varianza es diferente.

Para la disminución de la DQO

Calculando el índice de Levene = 10.56 y p valor = 0.000 < 0.05, se rechaza la hipótesis nula por consiguiente al menos una varianza es diferente.

✓ Prueba hipótesis DCA:

Al menos un tratamiento es más efectivo aplicando sulfato de aluminio en la remoción de la DBO en aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich, Miraflores, 2022

$H_0$ : Los tratamientos no presentan diferencias significativas en las medianas entre si

$H_a$ : Los tratamientos presentan diferencias significativas en las medianas entre si

Teniendo en cuenta que los datos no presentan una distribución normal se aplica la prueba Krustal-Wallis, el cual el coeficiente  $H= 51.45$  y un  $p\text{-valor} = 0.000$  y sabiendo que  $p\text{-valor} < 0.05$  se decide aceptarla hipótesis alterna y rechazar la hipótesis nula es decir los tratamientos presentan diferencias significativas entre si (respecto a las medianas).

Al menos un tratamiento es más efectivo aplicando sulfato de aluminio en la remoción de la DQO en aguas residuales domésticas de la PTAR María Reich, Miraflores, 2022.

$H_0$ : Los tratamientos no presentan diferencias significativas en las medianas entre si

$H_a$ : Los tratamientos presentan diferencias significativas en las medianas entre si

Teniendo en cuenta que los datos no presentan una distribución normal se aplica la prueba Krustal-Wallis, el cual el coeficiente  $H= 49.06$  y un  $p\text{-valor} = 0.000$  y sabiendo que  $p\text{-valor} < 0.05$  se decide aceptarla hipótesis alterna y rechazar la hipótesis nula es decir los tratamientos presentan diferencias significativas entre si (respecto a las medianas).

✓ Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey)

Prueba Tukey:

$H_0: \mu_i = \mu_j$

$H_a: \mu_i \neq \mu_j$

Por lo que se tiene:

Para la remoción de DBO:

**Tabla 25**

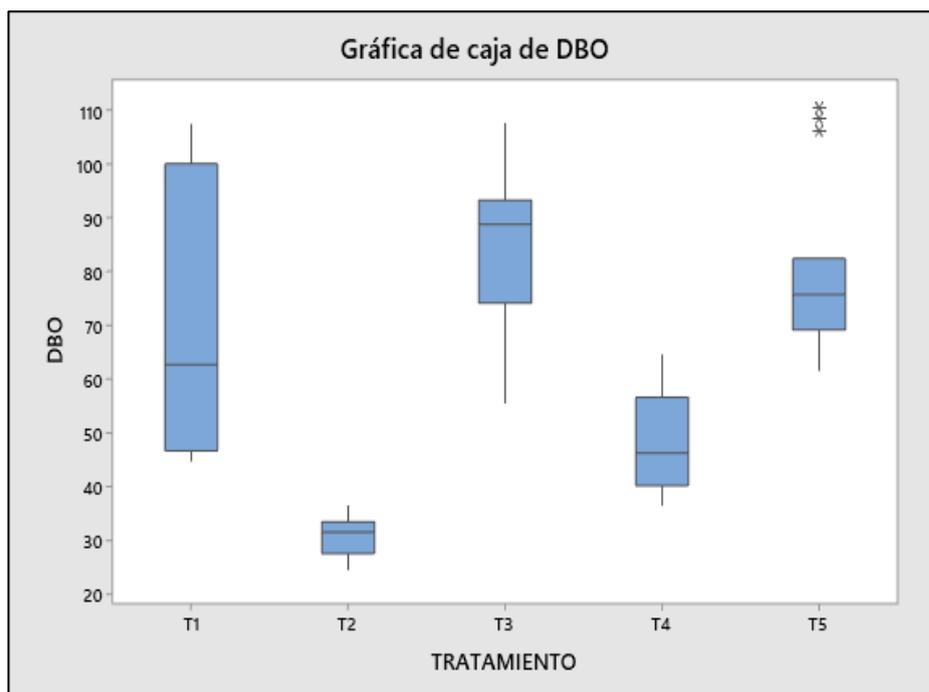
*Prueba Tukey de Aplicación de tratamientos para la disminución de la DBO en aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich, Miraflores, 2022*

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T3	15	83.6733	A
T5	15	79.5400	A
T1	15	72.1400	A
		48.6267	
T4	15		B
T2	15	30.7733	C

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, elaborado en MINITAB versión 19.

**Figura 13**

*Presentación de Resultados de la prueba tukey respecto a la remoción de la DBO*



*Nota.* Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo que se desprende que el T2 es el tratamiento más eficiente en la remoción de DBO el cual consiste en aplicar  $Al_2(SO_4)_3$  al 1% con dosis de 50 ml del mismo a pH de 6.58 se remueve eficientemente con una media agrupada de 30.7733, presentando el valor más bajo en las agrupaciones verificando su eficiencia.

Para la remoción de DQO:

**Tabla 26**

*Prueba Tukey de Aplicación de tratamientos para la disminución de la DQO en aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich, Miraflores, 2022*

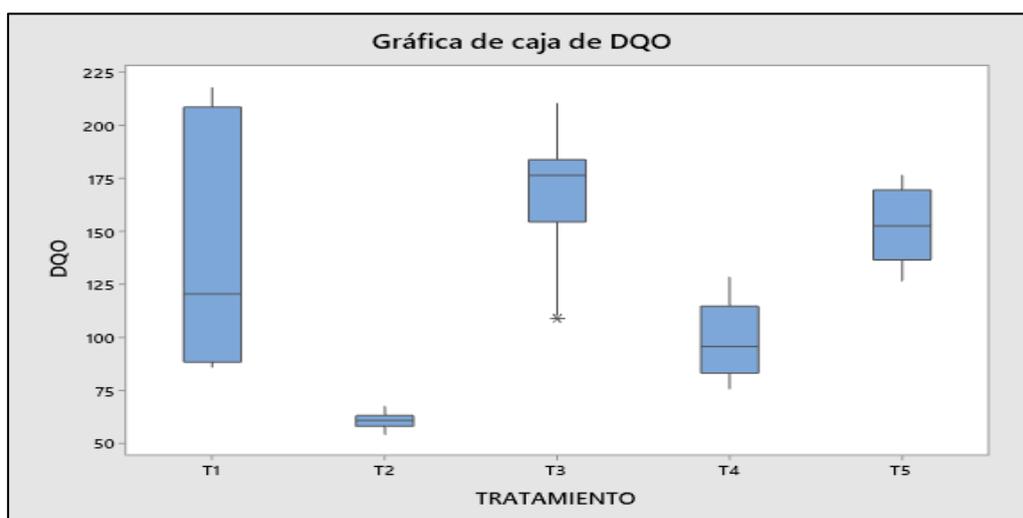
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T3	15	166.767	A
T5	15	151.992	A
T1	15	143.947	A
		99.754	
T4	15		B
T2	15	60.601	C

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes,

elaborado en MINITAB versión 19

**Figura 14**

*Presentación de Resultados de la prueba tukey respecto a la remoción de la DBO*



*Nota:* Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo que se desprende que el T2 es el tratamiento más eficiente en la remoción de DQO el cual consiste en aplicar  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  al 1% con dosis de 50 ml del mismo a pH de 6.58 se remueve eficientemente con una media agrupada de 60.601, presentando el valor más bajo en las agrupaciones verificando su eficiencia.

Lo que permite hacer un comparativo en la eficiencia de remoción de los tratamientos aplicados de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  en diferentes concentraciones y dosis diluidas en aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich, Miraflores, 2022:

**Tabla 27**

*Comparación de aplicación de mejor tratamiento aplicado para la remoción de DBO y*

Tratamiento	DBO	DQO
	Tratamiento con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ al 1% con Dosis de 50 ml pH 6.58 Concentración (mg/l) 24.6	Tratamiento con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ al 1% con Dosis de 50 ml pH 6.58 Concentración (mg/l) 54.33
Eficiencia de remoción (%)	88.3302	86.1664

*DQO en aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich, Miraflores, 2022*

**Tabla 28***Contrastación de Hipótesis de Investigación*

HIPOTESIS GENERAL	ARGUMENTACION	CONTRASTACION
El uso de sulfato de aluminio permitirá optimizar la remoción de la DQO y DBO en aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich, Miraflores, 2022.	Se observa según el análisis realizado que el sulfato de aluminio aplicado permite mejorar significativamente la remoción de DBO y DQO en aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich, Miraflores, 2022	Verdadera
<b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b>		
Los niveles de los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los LMP para las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores.	Según los datos obtenidos en un primer momento superan los valores de los LMP vigentes, pero aplicando los tratamientos llegan a estar por debajo de los valores establecidos tanto en DBO como en DQO.	Verdadera
Las concentraciones residuales de la DQO y DBO son removidas óptimamente con sulfato de aluminio en las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores.	Según los resultados obtenido se puede afirmar que los valores 24.6 mg/l en DBO y 54.33 mg/l en DQO obtenidos del mejor tratamiento aplicado fundamentan el hecho de que la DQO y DBO son removidas óptimamente con sulfato de aluminio en las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores.	Verdadera
La optimización del sulfato de aluminio permitirá alcanzar mayores eficiencias en la remoción de la DQO y DBO de las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores.	Según lo obtenido en la investigación aplicando sulfato de aluminio al 1% con dosis de 50 ml de dilución permite alcanzar en ambos indicadores eficiencias de remoción mayores a 80%	Verdadera

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Caldera et al. (2011), en su publicación “Eficiencia del sulfato de aluminio durante el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola” proponen como objetivo determinar la eficiencia del sulfato de aluminio como coagulante en el proceso de tratamiento de las aguas de la industria avícola, en el estudio los ensayos de simulación de coagulación, floculación y sedimentación se realizaron mediante la prueba de jarras (Jar Test) con aguas residuales muestreadas al inicio de un separador de Aceites y Grasa de la industria avícola. En los ensayos de laboratorio se consideró una muestra control (sin coagulante) y se añadieron concentraciones de sulfato de aluminio de 200, 250, 300, 350 y 400 mg/L, para luego proceder a comparar las eficiencias de remoción de la DQO, SST, SSV, AyG, Turbidez y Color, al inicio y al término del tratamiento con el coagulante. Los resultados mostraron que el sulfato de aluminio alcanzó remociones de DQO, AyG, SST, SSV, Color y Turbidez entre 80% a 87%, 63% a 75%, 91% a 96%, 93% a 96%, 88% a 98% y 83% a 96%, respectivamente, siendo la mejor concentración del coagulante 300 mg/L con remociones de DQO, SST, A y G, Turbidez y Color superiores al 74%. El objetivo de nuestra investigación se basó principalmente en la remoción de la DQO y la DBO en muestras de aguas residuales domésticas, para lo cual se trabajaron con concentraciones de Sulfato de Aluminio del 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5%, siendo la dosis de 50 ml para todos los casos la más eficiente, y se obtuvieron resultados de remoción para la DQO en el orden del 78, 85.7, 71.9, 80.2 y 67.5% respectivamente; y para la DBO en el orden del 78.3, 87.9, 73.1, 82.2 y 70.3% respectivamente.

Zhou et al. (2008), en su artículo científico sobre “Decolorization and COD removal of secondary yeast wastewater effluents by coagulation using aluminum sulfate” desarrollaron el proceso de coagulación con sulfato de aluminio como alternativa de

tratamiento para las aguas residuales de levadura tratadas biológicamente, dentro de la metodología empleada se consideró el pH de la solución, la dosis de coagulante, los ácidos coagulantes (floculante) y las condiciones de mezcla que influyen en la DQO y la eficiencia de eliminación del color, así como los mecanismos de coagulación utilizando sulfato de aluminio. Dentro de los resultados se observa que la dosificación óptima del coagulante se incrementa al elevarse el pH inicial; considerando que el pH inicial ideal debe ser mayor a 7 para obtener una reducción eficaz de los colorantes. Concluyendo que la velocidad de mezcla ideal oscila entre 300 y 500 rpm; alcanzando una eficiencia de eliminación de DQO y color de 72 % y el 90 %, respectivamente. De acuerdo a las condiciones operativas de nuestra investigación y las variables de estudio se inició los tratamientos con un pH inicial de 7.28 y agitación de 200 RPM para todos los casos, en tal sentido se pudo apreciar que de acuerdo a las concentraciones y dosis añadidas de sulfato de aluminio el pH se iba reduciendo, llegando a alcanzar de acuerdo a la última concentración de 2.5% y dosis de 50 ml un pH de 4.35, con lo cual se pudo obtener una eficiencia en la remoción de la DQO del 67.5%. Sin embargo, de acuerdo a estos últimos resultados, se puede indicar que el pH alcanzado se encuentra por debajo del Límite Máximo Permisible, en tal sentido el pH óptimo considerado fue de 5.5, alcanzado con la concentración al 1% y dosis de 50 ml, con ello se obtuvo una eficiencia de 85.7% para la DQO.

Janampa y Quiroz (2021), en su estudio “Remoción de Carga Orgánica de Aguas Residuales Domésticas por el método de Coagulación con Sulfato de Aluminio en el lugar Agua de Vichi – Santa Ana - Huancavelica”, plantearon como un objetivo específico el determinar la coagulación de sulfato de aluminio evaluado con los parámetros químicos de DBO<sub>5</sub>, DQO y pH para remover la carga orgánica de aguas residuales domésticas. Dichas aguas residuales son descargadas al río Ichu sin tratamiento previo; es así que para la

aplicación del método de coagulación se desarrolló el ensayo de prueba de jarras con la finalidad de obtener la dosis óptima del coagulante para el máximo porcentaje de remoción de carga contaminante, previo a ello se realizó un muestreo para recolectar muestras de agua residual doméstica las cuales fueron enviadas a un laboratorio para realizar el análisis de los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO, Turbiedad, pH y Temperatura, así mismo se procedió a tomar muestras de agua residual de 30 L para realizar el ensayo de Prueba de jarras en el laboratorio de la empresa prestadora de servicios “EMAPA”. Luego de realizar el ensayo de prueba de jarras se obtuvo que las dosis óptimas del coagulante son de 100 y 120 mg/l con los cuales se obtiene los máximos porcentajes de remoción de carga contaminante, con una eficiencia de remoción para la Turbiedad del 71.16 %, para la DBO<sub>5</sub> una eficiencia de 73.79% y para la DQO 66.26% de eficiencia; a una temperatura promedio de 14 C° y un pH de 7.5. En nuestra investigación los ensayos también se realizaron mediante una prueba de jarras para cinco concentraciones diferentes de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 %, a fin de encontrar la máxima eficiencia con el uso de sulfato de aluminio para la remoción de la DQO. De acuerdo con los resultados finales obtenidos en nuestro trabajo experimental se obtuvo para la DQO una eficiencia óptima del 85.7% con la concentración al 1% y 50 ml de dosis; para el caso de la remoción de la DBO se obtuvo una eficiencia óptima del 87.9% de igual forma con la concentración de sulfato de aluminio al 1% y una dosis de 50 ml.

## VI. CONCLUSIONES

- Con relación al primer objetivo planteado los resultados obtenidos en la caracterización del agua residual doméstica, los niveles de pH, SST y AyG se encuentran dentro de los LMP con valores de 7.28, 78 mg/l y 18.6 mg/l respectivamente, mientras que las concentraciones de DQO y DBO registraron valores de 392.74 mg/l y 210.8 mg/l respectivamente excediendo los LMP, asimismo los niveles de Conductividad Eléctrica y Sólidos Totales Disueltos no cuentan con Límites Máximos Permisibles.
- Con relación al segundo objetivo planteado se obtuvo que el tratamiento aplicado con sulfato de aluminio al 1% y dosis de 50 ml alcanzaron las mayores concentraciones residuales de DQO y DBO con 56.23 y 25.6 mg/l, quienes presentaron concentraciones iniciales de 392.74 y 210.8 mg/l respectivamente, cumpliendo de esta manera con los Límites Máximos Permisibles.
- De acuerdo con el tercer objetivo planteado se concluye que las eficiencias alcanzadas en la remoción de la DQO y DBO con la optimización del sulfato de aluminio al 1.0% de concentración y 50 ml de dosis, fueron del 85.7 y 87.9%, superando de esta forma a la concentración del 2% quien presentó una eficiencia del 80.2 y 82.2% respectivamente.
- De los cinco niveles de pH registrados de 7.01, 6.58, 6.79, 6.65 y 6.50 con la concentración al 1% de sulfato de aluminio y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, la máxima remoción de la DQO y DBO se alcanzó con un pH óptimo de 6.50 y 50 ml de dosis.

## VII. RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de reducir la concentración de materia orgánica de las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich, se recomienda el uso de sulfato de aluminio previo al tratamiento biológico a fin de mejorar las eficiencias en la remoción de contaminantes orgánicos.
- Según la caracterización de las aguas residuales domésticas de la PTAR María Reich en la presente investigación se trabajó con concentraciones medias de DQO y DBO, por lo que se recomienda realizar otras investigaciones con aguas residuales domesticas que presenten concentraciones superiores al del presente estudio, a fin de conocer la eficiencia del método aplicado.
- A manera de observar posibles cambios en la optimización del uso de sulfato de aluminio en la remoción de materia orgánica, se recomienda variar las condiciones operacionales del tratamiento en general, como la dosis del sulfato de aluminio, el tiempo de agitación, la temperatura de trabajo, el número de revoluciones por minuto y el volumen de trabajo.
- Se recomienda utilizar el sulfato de aluminio en dosis adecuadas o mínimas a fin de no generar exceso de lodos que puedan incrementar los costos operativos para su disposición final.

## VIII. REFERENCIAS

- Alcamo, J. (2019). Water quality and its interlinkages with the Sustainable Development Goals. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 36, 126 - 140. doi:10.1016/j.cosust.2018.11.005
- Alvites, E. (2018). *Caracterización de las aguas residuales de la ciudad de Cajamarca y su propuesta de tratamiento en la zona del fundo Betania* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de Cajamarca. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2043>
- Barajas, C. y León, A. (2015). “*Determinación de la Dosis Óptima de sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ) en el proceso de Coagulación - Floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una Red Neuronal Artificial*”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Santo Tomás]. Repositorio de la Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cabrera, I. (2019). “*Formulación de una mezcla constituida por Semillas de Moringa (Moringa Oleifera) y Sulfato de Aluminio, para ser usada en el proceso de Coagulación- Floculación en el tratamiento de Agua Residual*”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio de la Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/3941/BC-TES-TMP-2743.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Caldera, Y., Oñate, H., Rodríguez, Y. y Gutiérrez, E. (2011). Eficiencia del sulfato de aluminio durante el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola.

Impacto Científico. *Revista arbitrada venezolana del Núcleo LUZ-Costa Oriental del Lago*, 6 (2), 244 - 256. [https://www.researchgate.net/profile/Yim-Rodriguez-2/publication/341764543\\_Eficiencia\\_del\\_sulfato\\_de\\_aluminio\\_durante\\_el\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales\\_de\\_una\\_industria\\_avicola/links/5ed28802299bf1c67d278a9f/Eficiencia-del-sulfato-de-aluminio-durante-el-tratamiento-de-aguas-residuales-de-una-industria-avicola.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Yim-Rodriguez-2/publication/341764543_Eficiencia_del_sulfato_de_aluminio_durante_el_tratamiento_de_aguas_residuales_de_una_industria_avicola/links/5ed28802299bf1c67d278a9f/Eficiencia-del-sulfato-de-aluminio-durante-el-tratamiento-de-aguas-residuales-de-una-industria-avicola.pdf)

Chacón, I. y Ramos, C. (2019). *“Optimización de parámetros para remoción de turbidez, DBO5 Y DQO mediante procesos de coagulación/floculación de aguas residuales domésticas empleando organoarcilla”*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Peruana Unión]. Repositorio de la Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2144>

Campoverde, J. (2019). *Tratamiento de aguas residuales de una empresa industrial de congelados* [Tesis de licenciatura]. Universidad de Piura. <https://hdl.handle.net/11042/4397>

Cerón Pérez, V. A. (2016). Estudio para la determinación y dosificación óptima de coagulantes en el proceso de clarificación de aguas crudas en la potabilización de aguas de la empresa Empozando E.SP. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño.

Cui, H., Huang, X., Yu, Z., Chen, P., & Cao, X. (2020). Application progress of enhanced coagulation in water treatment. *RSC Advances*, 10(34), 20231–20244. doi:10.1039/d0ra02979c

Córdova, E. (2019). *“Aplicación de sulfato de aluminio y tuna (Opuntia ficus-indica) para la remoción de materia orgánica y turbidez de las aguas residuales del camal municipal Tumán 2018”*. [Tesis para optar el Título de en Ingeniería Ambiental y

Sanitaria. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca]. Repositorio Corporación Universitaria Autónoma de Cauca. <https://repositorio.uniautonoma.edu.co/bitstream/handle/123456789/609/T%20IA-M%20111%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Daza, N. y Martínez, J. (2021). *“Evaluación del proceso de Coagulación, Floculación y Centrifugado mediante Sulfato de Aluminio como tratamiento de lixiviado maduro generado en Relleno Sanitario el Ojito de Popayán”*. Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio de la Universidad Nacional de Huancavelica.

D'Angelo, M. (16 de setiembre de 2016). Sólidos presentes en el agua: Todo sobre su filtración. *General Water Company Argentina*. <https://gwc.com.ar/contaminantes-del-agua/solidos-agua/>

Dawood, T., Elwakil, E., Novoa, H. M., & Gárate, J. F. (2020). Toward urban sustainability and clean potable water: prediction of water quality via artificial neural networks. *Journal of Cleaner Production*, 1-12. doi:10.1016/j.jclepro.2020.125266

Del Carpio, L. y De Celis, L. (2019). *Tratamiento físico químico y su posible reúso del agua residual proveniente del lavado de fibras proteicas para cumplir con los VMA* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10825>

Díaz, E., Alvarado, A., y Camacho, K. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera*, 14(1), 1–21. <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>

- Fernández, L. (2020). *Optimización de los procesos de coagulación y floculación en los sistemas de las plantas de tratamiento de agua potable, 2010-2020: Una revisión sistemática* [Tesis de licenciatura]. Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/25929>
- Fúquene, D. y Yate, A. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Working papers – ECAPMA*, 2(1), 1-7. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/2771/2857>
- Galindo, G. (2018). *Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado tipo b en la planta de tratamiento de agua potable Yurajhuanca – EMAPA Pasco* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. <http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/347/1/TESIS%20GIANCARLO%20GALINDO%20YANTAS1.pdf>
- Guzmán, L., Villabona, A., Tejada, C. y García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, 16(1), 253-262. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/issue/view/52/-%2A%2B%2A->
- Hassan, N. (2020). Watwe Quality Parameters. En K. Summers (Ed), *Water Quality: Science, Assessments and Policy* (3-20). Intech Open.
- Herrera, M. (2018). *Eficiencia de Eichornia SPP y Lemna SPP nativas en humedales artificiales en la remoción de sulfonato de alquilbenceno lineal de los detergentes presentes en aguas residuales domésticas, Moyobamba - 2017* [Título de licenciatura]. Universidad Nacional de San Martín.

<http://hdl.handle.net/11458/2790>

Janampa, Y. y Quiroz, M. (2021). “*Remoción de carga orgánica de Aguas Residuales Domésticas por el Método de Coagulación con sulfato de aluminio en el lugar agua de Vichi – Santa Ana – Huancavelica*” [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio de la Universidad Nacional de Huancavelica. <http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/3946/TESIS-2021-ING.%20AMBIENTAL-JANAMPA%20CHOQUE%20Y%20QUIROZ%20QUISPE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lapointe, M., Papineau, I., Peldszus, S., Peleato, N., & Barbeau, B. (2021). Identifying the best coagulant for simultaneous water treatment objectives: Interactions of mononuclear and polynuclear aluminum species with different natural organic matter fractions. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101829. doi:10.1016/j.jwpe.2020.101829

Loose, D. (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicio de saneamiento*. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS].

Lorenzo, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40(2), 10-17. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>

Mendoza, J., Miranda, D., Vásquez, G., Fernández, F., Rojas, J. y Cabello, J. (2013). Optimización de sulfato de aluminio para la remoción de materia orgánica en la

- obtención de agua potable. *Repositorio Digital de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión*. 62, 1-6.  
<http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/1629>
- Ming, X., Li, Q. y Jiang, W. (2021). Application of Aluminum Sulfate in the Treatment of Papermaking White Water. *BioResources*. 16 (1). 1382-1393.  
DOI:10.15376/biores.16.1.1382-1393
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (2014). Límites Máximos Permisibles para Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas. D.S. 010-2010- MINAM.
- Mamani, E. (2021). *Modelamiento en el Tratamiento Fisicoquímico de Aguas de Lavado de Lana por Electrocoagulación para el Cumplimiento de Valores Máximos Admisibles (VMA)* [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/13809>
- Medrano, B., Mendoza, J., Zafra, C., Martínez, M., Gómez, L. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1),15-24.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553768131002>
- Mojica, G. A. F., López, M., & Mannsbach, M. (2016). Remoción de materia orgánica en aguas residuales municipales a partir de procesos de coagulación-floculación. *Revista Internacional de Investigación y Docencia*, 1(4), 33.
- Navarro, N. (2015). Ingeniería y servicios ambientales - ISA. [Mensaje en un blog].  
<http://www.isa.ec/index.php/va-viene/entry/prueba-de-jarras>

- Ovuoraye, P., Ugonabo, V. y Nwokocha, G. (2021). Optimization studies on turbidity removal from cosmetics wastewater using aluminum sulfate and blends of fishbone. *SN Applied Sciences*. 3(488). <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04458-y>
- Oré, A. (2017). “*Influencia del sulfato de Aluminio y pH en la remoción de la materia orgánica para el tratamiento del agua residual del Camal Municipal de Chupaca*”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional Centro del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3770/Ore%20Asparin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Orozco, A. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y diseño*. Colombia, Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - ACODAL. Bogotá Colombia
- Osorio, M., Carrillo, W., Loor, X., Negrete, J. y Riera, E. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *El polo del conocimiento*, 56(6), 228-245. doi: 10.23857/pc.v6i3.2360
- Paucar, F. e Iturregui, P. (2020). Los desafíos de la reutilización de las aguas residuales en el Perú. *South Sustainability*, 1(1), 1-11. doi: 10.21142/SS-0101-2020-004
- Pérez, I. (2015). “OPTIMIZACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL DISTRITO DE VILCACOTO”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional Centro del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4549/Perez%20G..p>

df?sequence=1&isAllowed=y

Ramalho, S. (2021). *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Reverté.

Romero Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño*. Escuela colombiana de ingeniería.

Ruiz, I., Álvarez, J. y Soto, M. (2016). El Potencial De La Digestión Anaerobia En El Tratamiento De Aguas Residuales Urbanas Y Efluentes De Baja Carga Orgánica. *Research Gate*, 38(11), 1–12.

Sánchez, G. Maine, M., Hadad, H. y Caffaratti, S. (15-18 de mayo de 2018). *Humedales construidos para tratamiento de agua de proceso de papelería* [Presentación en papel]. IV Conferencia panamericana de sistemas humedales, Lima, Perú.

Segarra, M. (2021). *Evaluación de los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de aguas residuales en una empresa procesadora de plástico* [Tesis de licenciatura]. Universidad Agraria del Ecuador. <http://181.198.35.98/Archivos/TAMAYO%20SEGARRA%20MIGUEL%20%81NGEL.pdf>

Severiche, C., Castillo, M. y Acevedo, R. (2013). *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas*. Universidad Andaluza Inca Garcilaso. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>

Sillanpää, M., Ncibi, M. C., Matilainen, A., & Vepsäläinen, M. (2018). Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. *Chemosphere*, 190, 54–71. doi:10.1016/j.chemosphere.2017.09.113

- Vásquez, R. S. (2018). *Optimización del coagulante sulfato de aluminio en el tratamiento de potabilización del agua de la planta de Chota-Cajamarca* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/3347>
- Wei, H., Gao, B., Ren, J., Li, A., & Yang, H. (2018). Coagulation/flocculation in dewatering of sludge: a review. *Water Res.*, 143, 608-631. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.029>
- Yang, R., Li, H., Huang, M., Yang, H., & Li, A. (2016). A review on chitosan-based flocculants and their applications in water treatment. *Water Res.*, 95, 59-89. doi: 10.1016/j.watres.2016.02.068
- Zhou, Y., Liang, Z. y Wang, Y. (2007). Decolorization and COD removal of secondary yeast wastewater effluents by coagulation using aluminum sulfate. *Desalination*. 225, 301– 311. doi: 10.1016/j.desal.2007.07.010

## IX. ANEXOS

## A. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<p><b>Problema general</b> ¿Cómo será la optimización del sulfato de aluminio para la remoción de la DQO y DBO en las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores, 2022?</p> <p><b>Problemas Específicos</b> 1.¿Cuáles serán las características de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores? 2.¿Cuáles serán las concentraciones residuales de la DQO y DBO a ser removidos por optimización con sulfato de aluminio en las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores? 3.¿Cuál será la eficiencia del sulfato de aluminio para remover la DQO y DBO de las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Optimizar el uso del sulfato de aluminio para la remoción de la DQO y DBO en aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich, Miraflores, 2022.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b> 1.Caracterizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores. 2.Determinar las concentraciones residuales de la DQO y DBO removidos por optimización con sulfato de aluminio en las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores. 3.Determinar la eficiencia del sulfato de aluminio para la remoción de la DQO y DBO de las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> El uso de sulfato de aluminio permitirá optimizar la remoción de la DQO y DBO en aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich, Miraflores, 2022.</p> <p><b>Hipótesis Específicos</b> 1.Los niveles de los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los LMP para las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores. 2.Las concentraciones residuales de la DQO y DBO son removidas óptimamente con sulfato de aluminio en las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores. 3.La optimización del sulfato de aluminio permitirá alcanzar mayores eficiencias en la remoción de la DQO y DBO de las aguas residuales domesticas de la PTAR María Reich en Miraflores.</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p>	<p>El sulfato de aluminio es una sal sólida de color blanco, que puede encontrarse como: molido fino, molido grueso y superfino, y que se usa fundamentalmente para el tratamiento del agua potable y residual, utilizado como agente coagulante y floculante primario, el cual se caracteriza por agrupar los sólidos suspendidos en el agua y acelerar la sedimentación para su separación, también ayuda a la eliminación de bacterias y contribuye a la reducción de fósforo en plantas de tratamientos de efluentes; en la industria de madera y papel se emplea para ajustar el pH, Cabrera (2019)</p>	<p>LA optimización del sulfato de aluminio para lograr una eficiente remoción de DBO y DQO se basa en la dosis del coagulante, temperatura, concentración, volumen, tiempo de agitación etc. y se escogerá como dosis optima aquella que remueva la mayor cantidad.</p>	FACTORES OPERACIONALES	Volumen	L
			Tiempo				Min	
			Revoluciones				L/min	
			SULFATO DE ALUMINIO			Concentración	%	
						Dosis	ml	
			PARAMETROS FISICOS			Temperatura	°C	
						Conductividad Eléctrica	uS/cm	
						Potencial de Hidrógeno	Unidad de Ph	
			PARÁMETROS QUIMICOS			DBO	mg/l	
						DQO	%	
						Eficiencia	%	

**B. PANEL FOTOGRAFICO**

Preparación de soluciones de Sulfato de Aluminio para las dosificaciones correspondientes en el tratamiento



Acondicionamiento de muestras del efluente domestico en las Jarras del Floculador.



Adición de las dosis del Floculante de Sulfato de Aluminio a las muestras de agua residual



Toma de muestras después del proceso de Floculación de la muestra de agua residual.



Toma de muestras y adición de reactivos para la determinación de la DQO



Puesta de viales con las muestras y reactivos en el digestor para la determinación de la DQO



Cuantificación de la DQO en el Colorímetro Digital



Medición de los parámetros fisicoquímicos de las muestras