



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE  
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA**

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO INICIAL DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES LAS ESCLUSAS**

**TUTOR**

**Mgtr. PABLO PAREDES RAMOS**

**AUTORES**

**PEDRO ABRAHAM MACÍAS SUÁREZ**

**DIANA NOEMÍ MAZZINI MORÁN**

**GUAYAQUIL**

**2023**

<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>	
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS</b>	
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b> Evaluación del Rendimiento Inicial de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales las Esclusas	
<b>AUTOR/ES:</b> Macías Suárez Pedro Abraham Mazzini Morán Diana Noemí	<b>TUTOR:</b> Mgtr. Pablo Paredes Ramos
<b>INSTITUCIÓN:</b> <b>Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil</b>	<b>Grado obtenido:</b> Ingeniero Civil
<b>FACULTAD:</b> INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	<b>CARRERA:</b> INGENIERÍA CIVIL
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b> 2023	<b>N. DE PÁGS:</b> 201
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b> Arquitectura y Construcción	
<b>PALABRAS CLAVE:</b> Agua residual, Calidad de agua, Eliminación de desechos, Saneamiento, Tratamiento de agua	
<b>RESUMEN:</b> El estudio se centró en evaluar el rendimiento inicial de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Las Esclusas, mediante la recolección de muestras de agua y la evaluación de indicadores clave como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) soluble y particulado. Se utilizó la técnica de prueba de jarra para determinar las dosificaciones más eficientes de cloruro férrico y polímero catiónico que lograran una adecuada remoción de contaminantes. Los resultados mostraron que la combinación de 25% de cloruro férrico con un 1% de polímero catiónico fue óptima, logrando una rápida	

aglutinación y sedimentación de partículas floculadas. Esta dosificación demostró alta eficiencia en la remoción de DBO y DQO, cumpliendo con los estándares ambientales vigentes. La PTAR Las Esclusas logró cumplir con los límites de descarga establecidos, garantizando un tratamiento adecuado del agua residual antes de su vertido al medio ambiente. La combinación de cloruro férrico y polímero catiónico se presenta como una alternativa recomendable y sostenible para el tratamiento de aguas residuales en Guayaquil, contribuyendo a la gestión responsable y protección del medio ambiente. En resumen, el estudio proporcionó resultados satisfactorios que definieron una dosificación óptima para mejorar la eficiencia del tratamiento y asegurar agua limpia y segura para la comunidad. Este trabajo sentó bases importantes para futuros avances en el tratamiento de aguas residuales, contribuyendo al desarrollo científico y técnico en esta área.

<b>N. DE REGISTRO (en base de datos):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>
---	-----------------------------

**DIRECCIÓN URL (Web):**

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<b>SI</b> <input type="checkbox"/>	<b>NO</b> <input type="checkbox"/>
---------------------	------------------------------------	------------------------------------

<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b> Macías Suárez Pedro Abraham Mazzini Morán Diana Noemí	<b>Teléfono:</b> 0992146097 0994365883	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:pmaciass@ulvr.edu.ec">pmaciass@ulvr.edu.ec</a> <a href="mailto:dmazzinim@ulvr.edu.ec">dmazzinim@ulvr.edu.ec</a>
---	--	--

<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	Mgtr. Genaro Raymundo Gaibor Espín Decano Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción <b>Teléfono:</b> (04) 259 6500 Ext. 210 <b>E-mail:</b> <a href="mailto:ggaibore@ulvr.edu.ec">ggaibore@ulvr.edu.ec</a> Mgtr. Alexis Wladimir Valle Benítez (Director de carrera) <b>Teléfono:</b> (04) 259 6500 Ext. 242 <b>E-mail:</b> <a href="mailto:avalleb@ulvr.edu.ec">avalleb@ulvr.edu.ec</a>
------------------------------------	--

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

### Evaluación del rendimiento inicial de la planta de tratamiento de aguas residuales Las Esclusas

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

1

[www.oapen.org](http://www.oapen.org)

Fuente de Internet

1%

2

[fiis.unheval.edu.pe](http://fiis.unheval.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

3

[dspace.esPOCH.edu.ec](http://dspace.esPOCH.edu.ec)

Fuente de Internet

1%

4

[www.dspace.espol.edu.ec](http://www.dspace.espol.edu.ec)

Fuente de Internet

1%

5

[repositorio.ucsg.edu.ec](http://repositorio.ucsg.edu.ec)

Fuente de Internet

1%

6

[es.scribd.com](http://es.scribd.com)

Fuente de Internet

1%

7

[www.emapag-ep.gob.ec](http://www.emapag-ep.gob.ec)

Fuente de Internet

1%

8

[repositorio.uteq.edu.ec](http://repositorio.uteq.edu.ec)

Fuente de Internet

1%

9

[idoc.pub](http://idoc.pub)

Fuente de Internet

1%

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo



Identificado electrónicamente por:  
PABLO MARIO PAREDES  
RAMOS

MGTR. PABLO PAREDES RAMOS

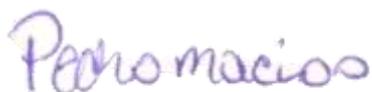
C.C. 0911828150

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados **PEDRO ABRAHAM MACIAS SUAREZ** y **DIANA NOEMÍ MAZZINI MORÁN** declaramos bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, **Evaluación del Rendimiento Inicial de la Planta De Tratamiento de Aguas Residuales Las Esclusas**, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)



PEDRO ABRAHAM MACÍAS SUÁREZ

0951910199



DIANA NOEMÍ MAZZINI MORÁN

0955924055

## CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación **Evaluación del Rendimiento Inicial de la Planta De Tratamiento de Aguas Residuales Las Esclusas**, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: **Evaluación del Rendimiento Inicial de la Planta De Tratamiento de Aguas Residuales Las Esclusas**, presentado por los estudiantes **PEDRO ABRAHAM MACÍAS SUÁREZ** y **DIANA NOEMÍ MAZZINI MORÁN** como requisito previo, para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**, encontrándose apto para su sustentación.



Mgr. PABLO PAREDES RAMOS

C.C. 0911828150

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, le doy gracias a Dios porque él me permitió llegar hasta el final de esta carrera y me ha ayudado a lo largo de los semestres. Asimismo, darle las gracias a toda mi familia a mis papás el Sr Pedro Macías Intriago y la Sra. Bella Suarez Ávila, a mis hermanas Génesis Macías Suárez y Rebeca Macías Suárez por todo el apoyo incondicional brindado, porque han sido parte fundamental de este proceso. Agradecerles a todos los docentes que nos brindaron su ayuda para mejorar esta tesis. De igual forma a mi pareja de tesis por toda la ayuda brindada en este largo y arduo proceso que atravesamos. Para finalizar darle gracias a nuestro tutor de tesis por el conocimiento y tiempo brindado para la ejecución y finalización de esta tesis.

### **PEDRO ABRAHAM MACÍAS SUÁREZ**

Primordialmente, agradezco a Dios por la guía, fortaleza y oportunidades que me ha brindado a lo largo de mi vida. A mis amados padres, por ser mi mayor apoyo, por su amor incondicional y por brindarme todas las herramientas necesarias para enfrentar los desafíos que la vida me ha presentado. A mis hermanas, por ser mi motivación constante y por compartir los momentos más difíciles conmigo. Su compañía ha sido mi refugio en todo momento. A mis abuelitos, quienes con su sabiduría y amor me han ayudado a ser mejor diariamente. Sus consejos y palabras alentadoras siempre han sido un faro en mi camino. Agradezco a todos aquellos profesores que, a lo largo de mis diferentes etapas estudiantiles, compartieron sus conocimientos, dedicaron tiempo y esfuerzo para guiarme en mi formación. A la universidad, por ser el escenario en el cual he crecido académica y personalmente. Los recursos, oportunidades y experiencias que he encontrado aquí han sido esenciales en mi formación integral. A mi compañero de tesis, gracias por compartir este viaje conmigo y por su apoyo constante. Este logro no habría sido posible sin el respaldo y la comprensión de todos ustedes en mi vida.

### **DIANA NOEMÍ MAZZINI MORÁN**

## **DEDICATORIA**

Con profundo cariño, dedico esta tesis a mis amados padres, Pedro Macias y Bella Suarez, cuyo apoyo y lecciones sobre la perseverancia han sido invaluableles. A mis hermanas Génesis y Rebeca Macias, por los momentos inolvidables compartidos. Asimismo, quiero dedicarla a las personas más trascendentales en mi vida, quienes me han guiado y motivado para culminar esta carrera y llenarlos de orgullo. A mis adorados abuelos, el Sr. Moisés Macias Espinoza, la Sra. Colombia Intriago Luca, el Sr. Agapo Suárez Ortega y la Sra. Lidia Ávila Pilar, ahora brillando como estrellas en el cielo. De igual forma, dedicada a toda mi familia, por acompañarme en cada etapa crucial de mi vida. A todas aquellas amistades que he cultivado en el trayecto, agradeciéndoles por su compañía y consejos. Un especial reconocimiento a mis grandes amigos Luis Melo, José Desiderio, María Celi, Valeria Sarango, Manuel Cobos, Dominic y Danna Vera, Kira Lago, por su apoyo incondicional. Y a aquellas personas que han tenido un impacto en mi vida, les expreso mi gratitud sincera.

### **PEDRO ABRAHAM MACÍAS SUÁREZ**

Esta tesis está dedicada con amor y gratitud a quienes han sido mi pilar fundamental. A mis padres, Néstor Mazzini y Maritza Moran, por su incansable apoyo y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mis queridas hermanas, Ruth y Jazmín Mazzini, por ser mi fuente constante de inspiración y alegría. A mis abuelitos María Barrionuevo, José Morán, y Luz María Mite, por ser mis guardianes desde siempre y brindarme su cariño incondicional. A mis mejores amigos, Estefanía Game y Josué Lázaro, por compartir risas, momentos inolvidables y ser mi apoyo inquebrantable, incluso en la distancia. A mi familia en general, por el apoyo constante y por estar en cada paso de este largo camino. A todos aquellos amigos que me han acompañado a lo largo de mi vida, por su amistad sincera y por formar parte de mis recuerdos más preciosos. Gracias a cada uno de ustedes, este logro es posible. Su presencia en mi vida ha sido el impulso para llegar hasta aquí. Gracias por creer en mí y por ser la razón que me motiva a seguir adelante y mejorar cada día en mi desarrollo personal, profesional y académico.

### **DIANA NOEMÍ MAZZINI MORÁN**

## RESUMEN

El estudio se centró en evaluar el rendimiento inicial de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Las Esclusas, mediante la recolección de muestras de agua y la evaluación de indicadores clave como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) soluble y particulado. Se utilizó la técnica de prueba de jarra para determinar las dosificaciones más eficientes de cloruro férrico y polímero catiónico que lograran una adecuada remoción de contaminantes. Los resultados mostraron que la combinación de 25% de cloruro férrico con un 1% de polímero catiónico fue óptima, logrando una rápida aglutinación y sedimentación de partículas floculadas. Esta dosificación demostró alta eficiencia en la remoción de DBO y DQO, cumpliendo con los estándares ambientales vigentes. La PTAR Las Esclusas logró cumplir con los límites de descarga establecidos, garantizando un tratamiento adecuado del agua residual antes de su vertido al medio ambiente. La combinación de cloruro férrico y polímero catiónico se presenta como una alternativa recomendable y sostenible para el tratamiento de aguas residuales en Guayaquil, contribuyendo a la gestión responsable y protección del medio ambiente. En resumen, el estudio proporcionó resultados satisfactorios que definieron una dosificación óptima para mejorar la eficiencia del tratamiento y asegurar agua limpia y segura para la comunidad. Este trabajo sentó bases importantes para futuros avances en el tratamiento de aguas residuales, contribuyendo al desarrollo científico y técnico en esta área.

**Palabras Claves:** Agua residual, Calidad de agua, Eliminación de desechos, Saneamiento, Tratamiento de agua.

## ABSTRACT

The study focused on evaluating the initial performance of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) Las Esclusas by collecting water samples and assessing key indicators such as Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) in soluble and particulate form. The jar test technique was used to determine the most efficient dosages of ferric chloride and cationic polymer that would achieve proper removal of contaminants. The results showed that the combination of 25% ferric chloride with 1% cationic polymer was optimal, resulting in rapid agglomeration and sedimentation of flocculated particles. This dosage demonstrated high efficiency in removing BOD and COD, complying with current environmental standards. WWTP Las Esclusas successfully met the established discharge limits, ensuring adequate treatment of wastewater before being discharged into the environment. The combination of ferric chloride and cationic polymer is presented as a recommended and sustainable alternative for wastewater treatment in Guayaquil, contributing to responsible management and environmental protection. In summary, the study provided satisfactory results that defined an optimal dosage to improve treatment efficiency and ensure clean and safe water for the community. This work laid important foundations for future advancements in wastewater treatment, contributing to scientific and technical development in this field

**Keywords:** Wastewater, Water quality, Contaminant, Waste disposal, Sanitation, Water treatment.

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
GLOSARIO .....	2
DQO .....	2
DBO .....	2
Eutrofización .....	2
Flocs .....	3
Fitoplanctónicas .....	3
PTAR .....	3
Aerobio .....	3
Anóxico .....	4
Anaerobio .....	4
Skimmer .....	4
SST .....	5
RMBR .....	5
DEA .....	5
Organismos antropogénicos .....	6
Microfloculación .....	6
Foto-Fenton .....	6
Biogás .....	7

Hidrolisis .....	7
Acetogénesis .....	7
Metanogénesis .....	8
Polielectrolitos.....	8
CAPÍTULO I.....	9
Enfoque de la Propuesta.....	9
1.1. Tema .....	9
1.2. Planteamiento del Problema .....	9
1.3. Formulación del Problema .....	13
1.4 Objetivo General .....	13
1.5 Objetivos Específicos.....	14
1.6. Hipótesis .....	14
1.7. Línea de Investigación Institucional/Facultad. ....	14
CAPÍTULO II.....	16
Marco Referencial.....	16
2.1. Antecedentes .....	16
2.1.1. Planta de Aguas Residuales (PTAR) .....	16
2.1.1.1. Inicio de las PTAR en el Mundo. ....	16
2.1.2. Aguas Residuales .....	19
2.1.2.1. Aguas Residuales Domésticas.....	20

2.1.2.2. Aguas Residuales Industriales. ....	21
2.1.3. Tipos de Tratamiento de Aguas residuales .....	22
2.1.3.1. Tratamiento Físico. ....	22
2.1.3.1.1. Desbaste. ....	23
2.1.3.1.2. Sedimentación. ....	24
2.1.3.1.3. Flotación. ....	25
2.1.3.1.4. Filtración. ....	26
2.1.3.2. Tratamiento Químico. ....	26
2.1.3.3. Tratamiento Biológico. ....	27
2.1.3.3.1. Tratamiento Biológico Aerobio. ....	27
2.1.3.3.2. Tratamiento Biológico Anaerobio. ....	28
2.1.3.3.3. Tratamiento Biológico Anóxico. ....	30
2.1.4. Etapas de Tratamiento de Aguas Residuales .....	31
2.1.4.1. Pretratamiento. ....	31
2.1.4.2. Tratamiento Primario. ....	32
2.1.4.3. Tratamiento Secundario. ....	33
2.1.4.4. Tratamiento Terciario. ....	34
2.1.5. Tipos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales .....	36
2.1.5.1. Planta de Lodos Actividades. ....	36
2.1.5.2. Planta de Filtro Aireado Sumergido. ....	37

2.1.5.3. Planta de Reactores Discontinuos Secuenciales. ....	38
2.1.5.4. Planta de Reactor de lecho Fijo. ....	39
2.1.6. Planta De Tratamiento Químicamente Asistida .....	40
2.1.7. Químicos más Usados en el Tratamiento de Aguas Residuales .....	41
2.1.7.1. Coagulantes.....	42
2.1.7.1.1. Tipos de Coagulantes más Usados.....	45
2.1.7.1.1.1. Sulfato de Aluminio. ....	45
2.1.7.1.1.2. Cloruro Férrico. ....	46
2.1.7.2. Floculantes.....	47
2.1.7.3. Desinfectantes. ....	48
2.1.7.4. Ajustadores de pH.....	53
2.1.7.5. Oxidantes.....	54
2.1.7.6. Eliminadores de Oxígeno. ....	55
2.1.7.7. Agentes Antiespumantes. ....	55
2.1.8. DBO .....	56
2.1.8.1. DBO Soluble .....	58
2.1.8.2. DBO Particulado. ....	59
2.1.9. DQO.....	60
2.1.9.1. DQO Soluble ( <i>XDQOo</i> ). ....	61
2.1.9.2. DQO Particulado ( <i>XDQOo</i> ).....	62

2.2. Marco Referencial .....	62
2.3. Marco Legal .....	72
2.3.1. Constitución de la Republica .....	73
2.3.2. Ley Orgánica De Recursos Hídricos Uso Y Aprovechamiento Del Agua	75
2.3.3. Agencia De Regulación Y Control Del Agua (ARCA) .....	78
2.3.3.1. RESOLUCION NRO ARCA-DE-007-2018 (ARCA) .....	79
2.3.4. Ley Recursos Hídricos Usos Y Aprovechamiento Del Agua .....	79
2.3.5. Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente (TULSMA).....	80
CAPÍTULO III.....	84
Marco Metodológico.....	84
3.1. Enfoque de la Investigación .....	84
3.1.1. Análisis de los Objetivos de la Investigación .....	85
3.2. Alcance de la Investigación:.....	86
3.2.1. Sector Ambiental.....	87
3.2.2. Sector Humano .....	87
3.2.3. Sector Social .....	88
3.2.4. Sector Económico .....	89
3.3. Técnica e Instrumentos para Obtener los Datos .....	90
3.3.0. Pasos para la Toma de Muestra y Realización de las Pruebas .....	91
3.3.1. Prueba de Jarras .....	96

3.3.1.1. Especificaciones Técnicas de los Ayudantes de Coagulación y Floculación .....	98
3.1.1.1.1. Cloruro Férrico. ....	98
3.1.1.1.2. Polímero Catiónico .....	99
3.3.2. Dosificaciones Establecidas para el Ensayo .....	100
3.3.3. Determinación de DQO Soluble y Particulado .....	102
3.3.3.1 Método de Referencia. ....	102
3.3.3.2. Interferencias. ....	105
3.3.3.3. Definiciones Generales. ....	105
3.3.3.4. Principio del Método. ....	105
3.3.3.5. Medidas de Seguridad. ....	106
3.3.3.6. Equipos y Materiales. ....	106
3.3.3.6.1. Equipos .....	106
3.3.3.6.2. Materiales .....	106
3.3.3.7. Reactivos .....	107
3.3.3.7.1. Preparación de la Solución Estándar. ....	107
3.3.3.8. Preparación de los Equipos. ....	108
3.3.3.9. Procedimiento del Ensayo. ....	109
3.3.3.9.1. Determinación de 0-1500 mg/L (Alto Rango). ....	110
3.3.3.10. Unidad de los resultados. ....	111
3.3.4. Determinación de DBO Soluble y Particulado .....	111

3.3.4.1 Método de Referencia.....	111
3.3.4.2. Interferencias.....	112
3.3.4.3. Definiciones Generales.....	112
3.3.3.4. Principio del Método.....	113
3.3.4.5. Medidas de Seguridad.....	116
3.3.4.6. Equipos y Materiales.....	117
3.3.4.6.1. Equipos.....	117
3.3.4.6.2. Materiales.....	117
3.3.4.7. Reactivos.....	118
3.3.4.7.1. Preparación de la Solución Estándar.....	122
3.3.4.8. Preparación de los Equipos.....	123
3.3.4.9. Procedimiento del Ensayo.....	124
3.3.4.10. Técnica de dilución.....	125
3.3.4.11. Diluciones Preparadas Directamente en las Botellas.....	127
3.3.4.12. Inoculación.....	128
3.3.4.13. Determinación del OD Inicial.....	128
3.3.4.14. Incubación.....	129
3.3.4.15. Determinación del OD final.....	129
3.3.4.16. Cálculos de la DBO5.....	130
3.3.4.16. Unidad de los Resultados.....	130

3.4. Población y Muestra.....	131
3.5. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Esclusas.....	132
3.5.1. Localización Geográfica del Proyecto .....	133
3.5.2. Parámetros y Tecnologías Usadas Actualmente en la Ptar.....	134
3.5.2.1. Tecnología Utilizada en la Ptar.....	134
3.5.2.2. Parámetros y Requerimientos. ....	135
3.5.2.2.1. Valores de Desempeño de la Ptar.....	136
3.5.3. Dosificación Usada Actualmente en la Ptar.....	137
3.5.4. Área de Influencia del Proyecto .....	138
CAPÍTULO IV .....	139
Propuesta .....	139
4.1. Presentación y Análisis de Resultados .....	139
4.1.1. Primer Muestreo Usando Agua Residual de Entrada a la PTAR Las Esclusas .....	140
4.1.1.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno Soluble y Particulada.....	141
4.1.1.1.1 Porcentaje de la Demanda Bioquímica de Oxígeno. ....	142
4.1.1.2. Demanda Química de Oxígeno Soluble y Particulada. ....	142
4.1.1.2.1 Porcentaje de la Demanda Química de Oxígeno.....	144
4.1.1.3. Elección de los parámetros DBO y DQO.....	144
4.1.2. Segundo Muestreo Usando Agua Residual de Entrada y Salida de la PTAR Las Esclusas .....	146

4.1.2.1. Análisis de resultados. ....	146
4.1.2.1.1. Porcentaje de remoción de DBO .....	148
4.1.2.1.2. Porcentaje de remoción de DQO .....	148
4.1.4. Comparación de los resultados con los parámetros establecidos en la normativa .....	149
4.1.5. Comparación de los resultados con los datos actuales de la Ptar .....	151
4.2. Propuesta .....	153
CONCLUSIONES .....	155
RECOMENDACIONES .....	156
Bibliografía.....	158
ANEXOS.....	174

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Línea de Investigación de la Facultad .....	15
Tabla 2 Datos de diseño en tanque de decantación.....	25
Tabla 3 Condiciones de biomasa fija y biomasa en suspensión.....	28
Tabla 4 Comparación de sistemas Aerobio y Anaerobio .....	30
Tabla 5 Comparación de costes de tratamiento .....	40
Tabla 6 Comparación de eficiencia de eliminación .....	41
Tabla 7 Microorganismos patógenos en aguas residuales relacionadas con diversas enfermedades.....	50

Tabla 8 Microorganismos patógenos en aguas residuales relacionadas con diversas enfermedades.....	51
Tabla 9 Promedios de concentración de indicadores en aguas residuales de zonas urbana .....	51
Tabla 10 La eliminación de microorganismos patógenos en el tratamiento de aguas residuales puede variar en función del tipo de tratamiento utilizado.....	52
Tabla 11 Comparación y características de los desinfectantes .....	52
Tabla 12 Relación de DBO y DQO en aguas residuales urbanas .....	57
Tabla 13 Variación de la carga por habitante .....	57
Tabla 14 Distribución de materia soluble y suspendida para una concentración media de aguas residuales .....	57
Tabla 15 Degradabilidad de aguas residuales de concentración media .....	58
Tabla 16 Niveles de desempeño de infraestructura .....	79
Tabla 17 Límites de descarga a un alcantarillado .....	81
Tabla 18 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce .....	82
Tabla 19 Límites de descarga a un cuerpo de agua marina.....	83
Tabla 20 Especificaciones técnicas del cloruro férrico .....	98
Tabla 21 Descripción de los equipos usados en la determinación del DQO...	106
Tabla 22 Descripción de los equipos usados en la determinación del DBO ...	117
Tabla 23 Colocación de las botellas para el ensayo de determinación del DBO5	125
Tabla 24 Diluciones de DBO5 .....	126
Tabla 25 Coordenadas de la PTAR Las Esclusas.....	133

Tabla 26 Desempeño del CEPT con adición de químico de la Ptar Las Esclusas	137
Tabla 27 Dosificación y Cantidad de Cloruro Férrico .....	138
Tabla 28 Análisis de calidad de agua (Primera prueba de jarras) .....	140
Tabla 29 Porcentaje de DBO soluble y particulado .....	141
Tabla 30 Porcentaje de DQO soluble y particulado.....	143
Tabla 31 Resultados del tratamiento en la PTAR (Segunda prueba de jarras)	146
Tabla 32 Resultado de las pruebas de jarras en las 3 dosificaciones .....	147
Tabla 33 Comparativa de los parámetros con los límites de descarga TULSMA	149
Tabla 34 Comparativa de los parámetros con obtenidos en la Ptar Las Esclusas	151

## **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1 Primeras conducciones de alcantarillado de aguas residuales - 1887 .....	17
Ilustración 2 Alcantarillado de Hamburgo - 1857.....	18
Ilustración 3 Sistema del desarrollo de aguas residuales .....	20
Ilustración 4 Esquema de una Depuradora de aguas residuales .....	22
Ilustración 5 Esquema de etapas de tratamiento de aguas residuales .....	31
Ilustración 6 Tipos de PTAR .....	36
Ilustración 7 Planta de lodos actividades .....	37
Ilustración 8 Planta de filtro aireado sumergido.....	38
Ilustración 9 Planta de reactores discontinuos secuenciales .....	39

Ilustración 10 Planta de reactor de lecho fijo.....	39
Ilustración 11 Uso de coagulantes en pruebas de laboratorio .....	42
Ilustración 12 Coagulante más usado en una PTAR.....	44
Ilustración 13 Prueba de Jarras .....	45
Ilustración 14 Polímero catiónico - Floculante o ayudante de floculación .....	48
Ilustración 15 Esquema del fraccionamiento de la DQO sin detallar .....	61
Ilustración 16 Inducción acerca de la PTAR Las Esclusas .....	92
Ilustración 17 Inducción de seguridad para tomar las muestras .....	92
Ilustración 18 Toma de muestras realizada por Pedro Macias .....	93
Ilustración 19 Toma de muestras realizada por Diana Mazzini .....	94
Ilustración 20 Muestras tomadas en la PTAR .....	94
Ilustración 21 Polímero catiónico .....	97
Ilustración 22 Muestra con la dosificación de Cloruro férrico.....	97
Ilustración 23 Muestra con Cloruro y Polímero.....	98
Ilustración 24 Muestra del 25% de $Cl_3Fe$ .....	101
Ilustración 25 Muestra del 25%;30% de $Cl_3Fe$ .....	101
Ilustración 26 Inicio de la prueba de determinación de DQO.....	103
Ilustración 27 Proceso de las pruebas .....	103
Ilustración 28 Adición del floculante a la muestra.....	104
Ilustración 29 Adición del coagulante a la muestra 2.....	104

Ilustración 30 Determinación del DBO .....	115
Ilustración 31 Proceso de la determinación del DBO .....	115
Ilustración 32 Seguimiento del proceso de determinación de DBO .....	116
Ilustración 33 Implementos usados en la prueba .....	118
Ilustración 34 Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Esclusas .....	132
Ilustración 35 Ubicación actual de la PTAR .....	134
Ilustración 36 Requerimientos de Desempeño del Tratamiento .....	135
Ilustración 37 Área de influencia de la PTAR Las Esclusas .....	138
Ilustración 38 Representación del parámetro DBO dentro de la Ptar .....	142
Ilustración 39 Representación del parámetro DQO dentro de la Ptar.....	143
Ilustración 40 Tiempo de remoción de las 3 dosificaciones.....	148
Ilustración 41 Representación del DQO estableciendo los límites permitidos en la normativa.....	150
Ilustración 42 Representación del DBO5 estableciendo los límites permitidos en la normativa.....	151
Ilustración 43 Representación del DQO en comparativa con los obtenidos en la Ptar Las Esclusas.....	152
Ilustración 44 Representación del DBO5 en comparativa con los obtenidos en la Ptar Las Esclusas.....	152

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Carta dirigida a EMAPAG para acceso a la PTAR Las Esclusas ....	174
Anexo 2 Programación para la toma de muestras efluentes en la PTAR Las Esclusas .....	175
Anexo 3 Carta de aceptación para acceder a la PTAR Las Esclusas .....	176

## INTRODUCCIÓN

El acceso a agua limpia y segura es un pilar fundamental para el bienestar de la humanidad y el equilibrio de los ecosistemas. Sin embargo, el crecimiento poblacional, la urbanización acelerada y la industrialización han generado una preocupante contaminación de las fuentes hídricas a nivel mundial. Ante este desafío, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se fundamentan como esenciales para mitigar los impactos negativos y preservar la salud ambiental.

El presente trabajo tiene como objetivo central la evaluación del rendimiento inicial de las plantas de tratamiento de aguas residuales, una etapa crucial que marca el punto de partida para el eficiente funcionamiento de estas infraestructuras; es decir, comprender y mejorar esta etapa inicial que se traduce en la posibilidad de obtener un agua depurada de mayor calidad y, por ende, una contribución más significativa a la preservación del medio ambiente y la promoción de la salud pública.

A lo largo de este estudio, se abordarán diversos aspectos relacionados con la evaluación del rendimiento inicial en las PTAR. Se analizarán los principales parámetros que influyen en esta fase, como la carga contaminante, la eficiencia de los procesos de tratamiento, la calidad de los equipos utilizados y la correcta selección de tecnologías aplicadas.

Además, se profundizará en la importancia de la planificación y la ejecución de programas de monitoreo y seguimiento, ya que estos permiten detectar posibles desviaciones en el rendimiento de la PTAR y brindar la oportunidad de realizar ajustes o mejoras en tiempo real. Asimismo, se resaltarán la relevancia de la investigación científica y el desarrollo tecnológico en este campo, como herramientas fundamentales para impulsar la innovación y perfeccionamiento de los procesos de tratamiento.

Finalmente, se espera que los hallazgos y conclusiones de este trabajo proporcionen aportes significativos al conocimiento científico y técnico en el área de tratamiento de aguas residuales, contribuyendo a la toma de decisiones informadas en la gestión y operación de las PTAR. Solo a través de un esfuerzo conjunto y una conciencia global sobre la importancia del agua como recurso invaluable, podremos garantizar un futuro sostenible para las generaciones venideras.

## GLOSARIO

**DQO:** Según la perspectiva de Aquanova (2021) la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se expresa en miligramos por litro de oxígeno (mg/l O<sub>2</sub>). Para comprender este concepto de manera más precisa, es necesario considerar que el agua o los efluentes contienen, además de agua pura, numerosos componentes adicionales. Estos componentes pueden ser susceptibles de oxidación. Es un parámetro ampliamente utilizado en las Estaciones de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) municipales, así como en los vertidos industriales. Este parámetro resulta especialmente relevante en los procesos de depuración, dado que la degradación de los principales componentes requiere la adición de un reactivo específico para su degradación adecuada. Si el agua con valores elevados de DQO no se trata de manera adecuada, puede generar graves problemas de eutrofización, lo que conlleva la muerte de la vida acuática en su totalidad. Por tanto, es esencial controlar y tratar adecuadamente los efluentes con altos valores de DQO para evitar impactos ambientales perjudiciales.

**DBO:** Según los hallazgos de Ibanez (2020) es una medida que indica la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos, como bacterias, hongos y plancton, durante la concentración de sustancias orgánicas presentes en una muestra de agua. Se utiliza para evaluar el nivel de contaminación y se expresa en mgO<sub>2</sub>/l. La DBO es un proceso biológico que requiere tiempo y es sensible. El análisis se realiza normalmente a 20°C durante 5 días, conocido como DBO<sub>5</sub>. La temperatura es un factor importante, ya que afecta la velocidad de deterioro. En términos generales, a mayor contaminación, mayor será la DBO. Se pueden establecer rangos de referencia para diferentes tipos de agua. Por ejemplo: Agua pura: entre 2 y 20 mg/l; Poco contaminada: entre 20 y 100 mg/l; Medianamente contaminada: entre 100 y 500 mg/l; Muy contaminada: entre 500 y 3.000 mg/l; Extremadamente contaminada: entre 3.000 y 15.000 mg/l.

**Eutrofización:** De acuerdo con la interpretación de Borrás (2022) es un fenómeno caracterizado por el aumento de nutrientes en un ecosistema acuático. Este proceso se inicia cuando el agua recibe aportes de nutrientes, como residuos agrícolas o forestales, lo cual promueve un crecimiento excesivo de materia orgánica. Como consecuencia, se produce un rápido desarrollo de algas y otras plantas verdes,

que forman una capa densa en la superficie del agua, impidiendo que la luz solar alcance las capas más profundas.

**Flocs:** Basada en las ideas de Gil (2021) es un conjunto de partículas sólidas que se forman mediante los procesos de coagulación y floculación. Está compuesto por sólidos separados del agua y por los sólidos aportados por el coagulante utilizado. En los procesos de flotación con aire, las microburbujas también forman parte del floc. El floc real, presente en la práctica, consiste en una variedad de materiales con diferentes tamaños y formas, los cuales experimentan cambios durante su formación. En otras palabras, la composición y características del floc resultan de la interacción de múltiples variables.

**Fitoplanctónicas:** Siguiendo la opinión de Costas (2019) son organismos vivos de origen vegetal que habitan en la columna de agua y no pueden resistir las fuerzas de las mareas, olas o corrientes, por lo que permanecen en estado de flotación. Son seres autótrofos y tienen la capacidad de realizar la fotosíntesis. Su papel en los ecosistemas acuáticos es de vital importancia, ya que son los principales productores primarios en los océanos. Exhibe una gran biodiversidad, con diversas especies adaptadas a las condiciones específicas de cada lugar, incluyendo la disponibilidad de nutrientes, episodios de eutrofización, entre otros factores.

**PTAR:** De acuerdo con las teorías de GC Tratamiento (2019) corresponden a Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Se trata de una instalación física equipada y diseñada específicamente para llevar a cabo una serie de procesos químicos, físicos y biológicos con el objetivo de eliminar los contaminantes presentes en el agua residual. Estas plantas son fundamentales para el tratamiento adecuado de las aguas residuales antes de ser devueltas al medio ambiente, reduciendo su impacto negativo y protegiendo la calidad del agua y la salud pública.

**Aerobio:** En función de las investigaciones de Bembibre (2018) el término "aerobio" se refiere a los organismos o seres vivos que requieren oxígeno para su supervivencia. El prefijo "aero" indica una relación con el aire, por lo que los aerobios son aquellos seres vivos que dependen de la presencia de oxígeno en el aire para sobrevivir, aunque las proporciones pueden variar según el tipo de organismo. La presencia de organismos aerobios en nuestro planeta se originó a partir del proceso

fundamental de la fotosíntesis. Las primeras formas de vida que desarrollaron la fotosíntesis liberaron oxígeno al ambiente, lo que permitió la evolución de organismos cada vez más complejos a lo largo del tiempo. El proceso de generación de oxígeno se produjo de manera natural para facilitar la supervivencia de los organismos que buscaron adaptarse al medio ambiente.

**Anóxico:** En concordancia de Plaut en el año 2020 se utiliza para describir las capas freáticas de agua en las cuales el oxígeno disuelto está completamente agotado. En estas condiciones, no hay presencia de oxígeno disponible para los organismos acuáticos. En un contexto acuático, como las capas freáticas, el agotamiento del oxígeno puede ocurrir debido a varios factores, como la alta demanda biológica de oxígeno, la falta de mezcla con el aire o la acumulación de materia orgánica en descomposición. Estas condiciones anóxicas pueden tener un impacto significativo en el ecosistema, ya que limitan la vida y el desarrollo de organismos que dependen del oxígeno para sobrevivir. Es importante destacar que el término "anóxico" se utiliza específicamente para describir la falta de oxígeno y no debe confundirse con "anaerobio", que se refiere a organismos que pueden sobrevivir y funcionar en ausencia de oxígeno.

**Anaerobio:** Siguiendo la opinión de Pérez Porto & Merino (2017) se refiere a un organismo capaz de sobrevivir sin oxígeno. A diferencia de los organismos aerobios, que requieren oxígeno para vivir, los anaerobios no utilizan oxígeno en sus procesos metabólicos. Dependiendo de la sustancia que actúe como aceptor final de electrones, los anaerobios pueden llevar a cabo respiración anaeróbica o tener un metabolismo fermentativo. En el caso de los organismos anaerobios que realizan respiración anaeróbica, utilizan una molécula inorgánica distinta al oxígeno como aceptor final de electrones. Esto les permite generar energía sin la presencia de oxígeno. La capacidad de los anaerobios para subsistir en ambientes sin oxígeno les permite habitar y desarrollarse.

**Skimmer:** En consonancia con las conclusiones de Benítez (2020) proviene del inglés, se utiliza comúnmente para referirse a una herramienta o dispositivo de filtrado de líquidos. Es especialmente conocido en el contexto de las piscinas, donde se utiliza un skimmer para recoger las basuras y residuos flotantes de la superficie del agua. El skimmer, también conocido como filtro espumadera, es un componente

esencial en los sistemas de circulación y limpieza de las piscinas. El skimmer, o filtro espumadera, desempeña un papel importante en el mantenimiento de la calidad del agua de la piscina al eliminar los desechos visibles y prevenir que se hundan y ensucien el fondo de la piscina.

**SST:** En función de las investigaciones de Industria BQUA (2018) las siglas SST quiere decir “sólidos suspendidos totales” que se refiere al peso total de los residuos sólidos presentes en el agua de una fuente, expresado en miligramos por litro o partes por millón. Esta medida es utilizada para cuantificar de manera precisa, dentro de las limitaciones del método, la concentración de sólidos suspendidos presentes en el agua. Este método implica el uso de un filtro de membrana con un tamaño de poro de 0,45 micras, el cual permite retener los sólidos suspendidos mientras permite el paso del agua. A través de este análisis, se puede obtener información sobre la carga de sólidos suspendidos en una muestra de agua, lo cual es importante para evaluar la calidad del agua y determinar la eficacia de los procesos de tratamiento y remoción de sólidos suspendidos.

**RMBR:** De acuerdo con Alarmspot Lavern (2016) un biorreactor de medios rotativos o “RMBR” en sus siglas en inglés es un tipo de sistema utilizado en procesos biotecnológicos y de tratamiento de aguas que involucra el uso de un medio de soporte que se mueve constantemente para promover la interacción entre microorganismos y sustratos. En un biorreactor de medios rotativos, el medio de soporte, que puede ser compuesto por materiales como gránulos, esferas o discos, se coloca en un tambor o un sistema similar que gira continuamente. Esta rotación del medio de soporte crea un entorno dinámico en el que los microorganismos pueden adherirse y crecer, permitiendo una mayor eficiencia en los procesos biológicos. El movimiento constante del medio de soporte en el biorreactor promueve una mejor distribución de los sustratos y nutrientes, aumenta la transferencia de masa y mejora la mezcla de los microorganismos en el sistema.

**DEA:** De acuerdo con las teorías de Riaño Henao & Larrea Serna (2019) el análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés) es una técnica de optimización utilizada en el campo de la investigación operativa y la toma de decisiones para evaluar el rendimiento relativo de un conjunto de unidades o entidades, como empresas, hospitales, escuelas o países, en función de múltiples

variables de entrada y salida. La DEA busca identificar las "mejores prácticas" entre las unidades evaluadas, es decir, aquellas que logran el mayor rendimiento utilizando los recursos de manera más eficiente y sin desperdicios. La DEA es especialmente útil cuando se tienen múltiples criterios y se busca comparar y clasificar las unidades en un análisis de eficiencia relativa, permitiendo tomar decisiones informadas para mejorar el rendimiento y la productividad en diversas áreas.

**Organismos antropogénicos:** En concordancia con Agencia Estatal de Meteorología y Oficina Española de Cambio Climático (2018) son resultado directo de las actividades humanas, en contraposición a aquellos con causas naturales, sin influencia humana. Es ampliamente utilizado para describir aquello que proviene del ser humano y que tiene impactos en el medio ambiente. Se asocia principalmente con fenómenos generados por actividades industriales, extractivas, productivas o de consumo que causan contaminación ambiental.

**Microfloculación:** Siguiendo la opinión de Howe y otros (2017) es un proceso de tratamiento de aguas que consiste en la formación de pequeñas partículas (microfloc) mediante la agregación de partículas más pequeñas presentes en el agua. Estas partículas se agrupan y forman agregados más grandes, que facilitan la separación de sólidos y sustancias en suspensión del agua. El proceso de microfloculación suele llevarse a cabo utilizando coagulantes químicos que ayudan a aglutinar las partículas en suspensión, permitiendo una sedimentación más rápida y efectiva. Este proceso es ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas potables y aguas residuales, ya que es una etapa clave para la eliminación de sólidos suspendidos, turbidez y algunos contaminantes. La microfloculación juega un papel esencial en la purificación del agua, asegurando que cumpla con los estándares de calidad antes de ser liberada o utilizada para consumo humano o uso industrial.

**Foto-Fenton:** Conforme a Tavares (2013) es un proceso de oxidación avanzada que utiliza la luz ultravioleta y el peróxido de hidrógeno en presencia de iones de hierro ( $Fe^{2+}$ ) para degradar y eliminar contaminantes orgánicos presentes en el agua o en otros medios. Esta técnica es especialmente eficaz en la degradación de compuestos orgánicos persistentes y difíciles de eliminar mediante otros métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. El proceso de Foto-Fenton genera radicales libres altamente reactivos, como el hidroxilo ( $\bullet OH$ ), que atacan y

descomponen los contaminantes orgánicos, convirtiéndolos en compuestos más sencillos y menos tóxicos para el medio ambiente. Es una opción prometedora para el tratamiento de aguas contaminadas y la eliminación de compuestos tóxicos, contribuyendo así a la protección y preservación de los recursos hídricos.

**Biogás:** Basado en las ideas de Bioenergy (2018) el biogás es un combustible que se genera a través de procesos naturales de biodegradación de elementos orgánicos en ambientes anaeróbicos. Este gas se forma principalmente por más del 50% de metano, junto con dióxido de carbono y otros gases como hidrógeno y oxígeno. El proceso de producción del biogás se lleva a cabo en dispositivos especialmente diseñados para facilitar la degradación de la materia orgánica. Además, durante el proceso de producción del biogás, se obtiene un subproducto que se reconoce como un fertilizante altamente efectivo, lo que lo convierte en una opción sostenible y beneficiosa tanto para la obtención de energía como para el tratamiento de residuos orgánicos.

**Hidrolisis:** De acuerdo a la página web Todo en polímeros (2017) la hidrólisis es un proceso químico mediante el cual una sustancia reacciona con el agua y se divide en dos o más componentes más simples. En este proceso, una molécula grande se rompe con la ayuda de moléculas de agua, lo que resulta en la formación de productos más pequeños y más fácilmente asimilables. La hidrólisis es un mecanismo común en diversos procesos biológicos, donde se descomponen compuestos complejos en sus elementos constituyentes mediante la incorporación de moléculas de agua.

**Acetogénesis:** Según un estudio realizado en la Universidad Militar Nueva Granada (2020) es un proceso biológico anaeróbico en el cual ciertos microorganismos convierten sustratos orgánicos, como ácidos grasos y azúcares, en ácido acético (acetato) y otros productos metabólicos. Este proceso se lleva a cabo en ausencia de oxígeno y es una etapa intermedia en la degradación de la materia orgánica durante la fermentación y la digestión anaeróbica. Los microorganismos acetogénicos utilizan una vía metabólica conocida como la vía de Wood-Ljungdahl o vía del acetyl-CoA para convertir los sustratos en acetato y otros compuestos. Esta vía es fundamental en la producción de acetato y es clave en la producción de biogás durante la digestión anaeróbica de residuos orgánicos.

**Metanogénesis:** Según la perspectiva de Biogás (2017) es un proceso biológico anaeróbico en el cual ciertos microorganismos producen metano a partir de sustratos orgánicos, como los ácidos grasos y el acetato. Es una etapa crucial en la digestión anaeróbica de la materia orgánica, donde los microorganismos metanogénicos descomponen los productos intermedios generados durante la fermentación y la acetogénesis para producir metano y dióxido de carbono. Este proceso de producción de metano es relevante tanto en la naturaleza, donde contribuye al ciclo del carbono y a la producción de biogás en humedales y sedimentos, como en aplicaciones industriales, donde se utiliza en la generación de biogás a partir de residuos orgánicos, como en plantas de tratamiento de aguas residuales y en la producción de energía renovable.

**Polielectrolitos:** En función de las investigaciones de Cahesa S.A. Industria Química (2020) los polielectrolitos son macromoléculas que contienen unidades repetitivas cargadas eléctricamente, ya sean positivas (cationes) o negativas (aniones). Estas moléculas son solubles en agua y pueden formar estructuras de alta viscosidad y capacidad de retención de agua debido a sus interacciones electrostáticas con el medio acuoso. Los polielectrolitos se utilizan en diversas aplicaciones, como agentes espesantes, floculantes para la clarificación de aguas.

# CAPÍTULO I

## Enfoque de la Propuesta

### 1.1. Tema

“Evaluación del rendimiento inicial de la planta de tratamiento de aguas residuales Las Esclusas”

### 1.2. Planteamiento del Problema

A nivel mundial, se estima que se generan anualmente 359 mil millones de metros cúbicos (m<sup>3</sup>) de aguas residuales. Sin embargo, solo el 48% de estas aguas residuales son sometidas a algún tipo de tratamiento. Esta cifra resalta la importancia de implementar medidas de tratamiento adecuadas para minimizar el impacto negativo de estas aguas residuales en el medio ambiente y la salud pública.

En los Estados Unidos, la sedimentación de aguas residuales es un problema significativo. Se estima que más de 1,200 millones de galones de aguas residuales, incluyendo aquellas que no han sido tratadas, son descargadas anualmente. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de mejorar los sistemas de tratamiento y gestión de aguas residuales en este país.

En el caso de Ecuador, dentro del total de aguas residuales generadas, solo el 88% de estas aguas son descargadas a ríos o quebradas sin recibir ningún tipo de tratamiento. Esta situación plantea un desafío en términos de protección del medio ambiente y la salud de las comunidades que dependen de estos recursos hídricos.

Estos datos resaltan la importancia de tomar medidas efectivas a nivel global para mejorar la gestión y tratamiento de las aguas residuales. Es fundamental implementar políticas y tecnologías adecuadas que permitan un tratamiento efectivo de estas aguas antes de su descarga, contribuyendo así a la conservación de los recursos hídricos y a la protección del medio ambiente.

La falta de infraestructuras como plantas o sistemas de tratamiento de aguas residuales en las áreas urbanas conlleva al descontrolado vertido de agua contaminada y causa un gran impacto negativo en el medio ambiente. Estas fuentes de agua no tienen la capacidad de absorber y neutralizar las cargas contaminantes por sí mismas. Como resultado, los cuerpos de agua han perdido su aspecto natural

y su capacidad para retener la cantidad suficiente de agua para mantener el equilibrio ecológico.

Esta situación conlleva a la pérdida de las características mínimas necesarias para que el agua sea utilizada de manera racional y adecuada como fuente de almacenamiento, vía de transporte o recurso energético. Además, el vertido de aguas residuales contaminadas sin tratamiento adecuado puede afectar gravemente la calidad del agua y comprometer la salud humana y la vida acuática.

Es esencial implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales eficientes en las ciudades para mitigar este problema. Estas instalaciones permitirán eliminar o reducir significativamente los contaminantes presentes en las aguas residuales antes de su descarga al medio ambiente. De esta manera, se podrá proteger el equilibrio ecológico de los cuerpos de agua, preservar su calidad y garantizar su uso sostenible para las generaciones presentes y futuras.

El vertido directo de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento tiene un impacto significativo en las condiciones físicas, químicas y microbiológicas de los cuerpos de agua receptores, como ríos, lagos y océanos cercanos a las ciudades. Esto ocasiona perjuicios incalculables tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Uno de los efectos evidentes de este problema es la eutrofización, un proceso en el cual se produce una acumulación excesiva de materia orgánica, principalmente rica en nitrógeno (N) y fósforo (P), lo que resulta en una proliferación descontrolada de algas fitoplanctónicas.

Esta acumulación masiva de algas genera consecuencias negativas en el ecosistema acuático. En primer lugar, el exceso de algas dificulta la penetración de la luz solar en el agua, lo que provoca una disminución en el proceso de fotosíntesis de las plantas acuáticas. Como resultado, estas plantas no pueden producir la cantidad adecuada de oxígeno necesario para mantener un equilibrio saludable en el entorno marino. Además, el crecimiento excesivo de algas puede dar lugar a la formación de algas tóxicas, que pueden ser perjudiciales para la vida acuática y la salud humana.

La eutrofización causada por el vertido de aguas residuales sin tratar es un problema grave que requiere atención y soluciones efectivas. Es fundamental implementar sistemas de tratamiento adecuados para eliminar los contaminantes

presentes en las aguas residuales antes de su descarga al medio ambiente. Esto ayudará a prevenir la eutrofización y a mantener la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos.

La falta de oxígeno debido a la eutrofización provoca graves alteraciones en la fauna acuática, lo que conduce a la extinción de diversas especies que dependen del equilibrio natural del entorno afectado. Esta situación resulta en la muerte masiva de organismos bióticos presentes en el cuerpo de agua. Además, las propias algas que proliferan en exceso liberan toxinas y patógenos, los cuales afectan a cualquier forma de vida cercana al efluente contaminado. Estos contaminantes pueden propagarse a través del consumo de agua, lo que lleva a la propagación de enfermedades tanto en animales como en seres humanos.

La presencia de toxinas y patógenos en el agua contaminada puede tener consecuencias graves para la salud humana. Las personas que consumen agua contaminada o entran en contacto con ella pueden convertirse en portadores de enfermedades, lo que contribuye a la propagación de infecciones. Estos problemas de salud son aún más preocupantes en los países en vías de desarrollo, donde se estima que alrededor de 1.5 millones de personas mueren anualmente a causa de enfermedades transmitidas por el agua. Además, los niños menores de 5 años son particularmente vulnerables, ya que representan aproximadamente la mitad de las muertes relacionadas con enfermedades hídricas en estos países. De hecho, estas enfermedades son la tercera causa de muerte en infantes en las naciones más pobres.

Estos datos enfatizan la importancia de abordar de manera urgente y efectiva los problemas relacionados con la contaminación de las aguas residuales. Es fundamental implementar sistemas de tratamiento adecuados y promover prácticas de gestión sostenible del agua para prevenir la eutrofización, proteger la vida acuática y preservar la salud humana.

Es común encontrar dificultades para cumplir con los estándares establecidos para la descarga o disposición adecuada de las aguas residuales. Esto se debe a que no todas las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) están diseñadas para tratar la misma cantidad de personas ni cuentan con las mismas etapas de

tratamiento. Estas disparidades pueden ser resultado de limitaciones económicas, ya que algunos métodos de tratamiento de aguas residuales son más costosos que otros.

Además, se observa que el problema de un tratamiento deficiente del agua es más prevalente en las PTAR de áreas urbanas o ciudadelas donde no se le da la debida importancia a este aspecto crucial. Esto puede estar influenciado por una falta de conciencia sobre los impactos negativos que puede tener la descarga de aguas residuales sin tratar en el medio ambiente y la salud pública.

Es fundamental abordar estas disparidades y promover la implementación de sistemas de tratamiento adecuados en todas las PTAR, independientemente de su tamaño o ubicación. Esto ayudará a garantizar que todas las aguas residuales sean tratadas de manera efectiva, cumpliendo con los estándares de calidad establecidos y minimizando los impactos negativos en el medio ambiente y la salud de las comunidades circundantes. Asimismo, es importante fomentar la educación y concientización sobre la importancia del tratamiento adecuado del agua residual, para promover una gestión sostenible y responsable de este recurso vital.

La ciudad de Guayaquil enfrenta grandes desafíos en cuanto al tratamiento de sus aguas residuales. Durante la temporada seca, se generan alrededor de 280.000 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales, mientras que en la temporada lluviosa esta cifra se eleva a 350.000 m<sup>3</sup>/día. Lamentablemente, la mayoría de estas aguas residuales no pasan por ningún proceso de descontaminación antes de su descarga.

Una de las principales problemáticas en algunas plantas de tratamiento radica en la incapacidad de cumplir con los parámetros establecidos para los cuales fueron diseñadas. Esto se debe a diversos factores, entre los cuales destaca la limitación económica que impide contar con los equipos adecuados para llevar a cabo los procesos de saneamiento del agua de manera eficiente.

En este contexto, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Esclusas tiene como objetivo mejorar las condiciones sanitarias de la ciudad de Guayaquil a través de la rehabilitación de la red de alcantarillado y las conexiones intradomiciliarias. Esta planta, ubicada en el sur de la ciudad, se encuentra en construcción y es de vital importancia evaluar su rendimiento inicial mediante el uso

de diferentes tipos de coagulantes. El objetivo es lograr remociones de DBO soluble y particulada, así como de DQO soluble y particulada, que cumplan con los estándares establecidos por la norma nacional ambiental vigente.

El análisis de la DBO es fundamental para cuantificar la proporción de oxígeno utilizado por los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en el agua residual. Sin este análisis, sería imposible determinar el grado de contaminación biológica del agua en una etapa determinada del tratamiento.

Por otro lado, la DQO desempeña un papel crucial en la evaluación de la capacidad contaminante de los cuerpos receptores de agua, así como en la determinación de la fuerza de contaminación de las aguas residuales y los desechos industriales. La falta de este análisis podría conducir a una sustitución inadecuada de los organismos microbiológicos y requerir el uso de reactivos oxidantes más fuertes.

En conclusión, el adecuado tratamiento de las aguas residuales es fundamental para preservar la salud pública y proteger el medio ambiente. La implementación de procesos de saneamiento eficientes en la PTAR Las Esclusas contribuirá significativamente a mejorar la calidad del agua y garantizar un entorno más saludable para la comunidad.

### **1.3. Formulación del Problema**

¿Es necesaria la Evaluación del rendimiento inicial de la planta de tratamiento de aguas residuales Las Esclusas para conocer la incidencia del coagulante cloruro férrico y sus otros componentes?

### **1.4 Objetivo General**

Evaluar el rendimiento inicial de la Planta de tratamiento de aguas residuales Las Esclusas en base a un análisis de calidad del agua servida para la obtención de los parámetros DBO y DQO.

## **1.5 Objetivos Específicos**

- Determinar los rendimientos iniciales de los parámetros DBO soluble y particulado, y DQO soluble y particulado.
- Definir la dosificación más adecuada de cloruro férrico y su ayudante de coagulación.
- Comparar los resultados obtenidos en los estudios realizados con los valores estándares establecidos.

## **1.6. Hipótesis**

Si se dosifica con cloruro férrico y polímero catiónico se cumple con el rendimiento inicial requerido para los parámetros DBO y DQO garantizando un tratamiento efectivo de las aguas residuales en la Planta de tratamiento de aguas residuales Las Esclusas, con lo que se aseguraría el cumplimiento de las normas ambientales.

## **1.7. Línea de Investigación Institucional/Facultad.**

La línea de investigación "Evaluación del rendimiento inicial de la planta de tratamiento de aguas residuales Las Esclusas" se enmarca dentro del ámbito del medio ambiente debido a su enfoque en la mejora de la gestión y tratamiento de aguas residuales, con el objetivo de mitigar el impacto ambiental negativo. A través de un análisis minucioso de los parámetros de calidad del agua, como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), así como la evaluación de diferentes dosificaciones de cloruro férrico y polímero catiónico, la investigación busca optimizar la eficiencia del proceso de tratamiento y, en última instancia, reducir la carga de contaminantes en los efluentes descargados al medio ambiente. Al proponer dosificaciones más eficientes y sostenibles, se contribuye a la conservación de los recursos hídricos, la preservación de la calidad del agua y la protección del ecosistema acuático, alineándose con los objetivos de conservación ambiental y sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales.

**Tabla 1 Línea de Investigación de la Facultad**

Dominio	Línea Institucional	Líneas de Facultad
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco amigable, industria, y desarrollo de energías renovables	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción	Medio Ambiente

**Fuente:** Universidad Laica Vicente Rocafuerte [ULVR] (2023)

**Elaborado por:** Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

## CAPÍTULO II

### Marco Referencial

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. *Planta de Aguas Residuales (PTAR)*

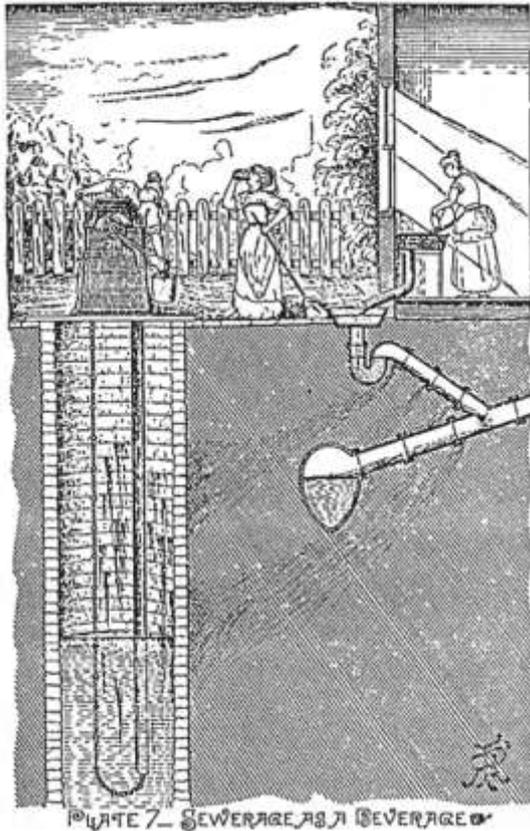
**2.1.1.1. Inicio de las PTAR en el Mundo.** Según Water Foundation (2017) hace aproximadamente 10 000 años, el mundo comenzó a generar aguas residuales. Este fenómeno se evidenció alrededor del año 8 500 a.C., cuando los habitantes se convirtieron en productores y comerciantes, generando una variedad de desechos. En Babilonia, en el año 4 000 a.C., se construyó el primer sistema de saneamiento para aguas residuales conocido como pozo ciego o pozo negro. Posteriormente, aproximadamente en el año 3 000 a.C., se implementaron las primeras redes de alcantarillado en las calles de la ciudad de Mohenjo-Daro. Estas alcantarillas se encargaban de recoger las aguas residuales y transportarlas hacia los pozos ciegos o hacia el río Indo.

Por consiguiente, desde entonces, las aguas residuales se habían convertido en un problema complejo y de gran magnitud, comenzando por contaminar los cursos de agua. En Grecia, surgió por primera vez el uso de estas aguas para la fertilización en la agricultura, y en algunas ciudades se las llevaba hacia un vertedero para, a través de un conducto, llevarlas a los campos de cultivo. El imperio Romano fue el primer periodo histórico dentro del cual se reportó un avance significativo en los desarrollos de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, separándolas mediante alcantarillas en las calles. Todos los hogares en ese entonces tenían la obligación de estar conectados a una red de alcantarillado, surgiendo la separación de aguas grises y negras. En aquella época no se conocía en su totalidad toda la afectación que tenía el no tratarlas adecuadamente; aun así, los sistemas que creaban se caracterizaban por su perduración y adaptabilidad.

En Europa, antiguamente, en las ciudades árabes se implementaban normas de saneamiento con el objetivo de separar los tres tipos de agua: pluviales, aguas grises provenientes de actividades domésticas y aguas fecales o negras. Fue en 1830 cuando se produjeron enfermedades en Londres debido al uso de agua potable contaminada, como resultado de la falta de un sistema de tratamiento adecuado. Esto

condujo, en el siglo XIX, a la utilización de fosas sépticas para reducir el nivel de contaminación existente.

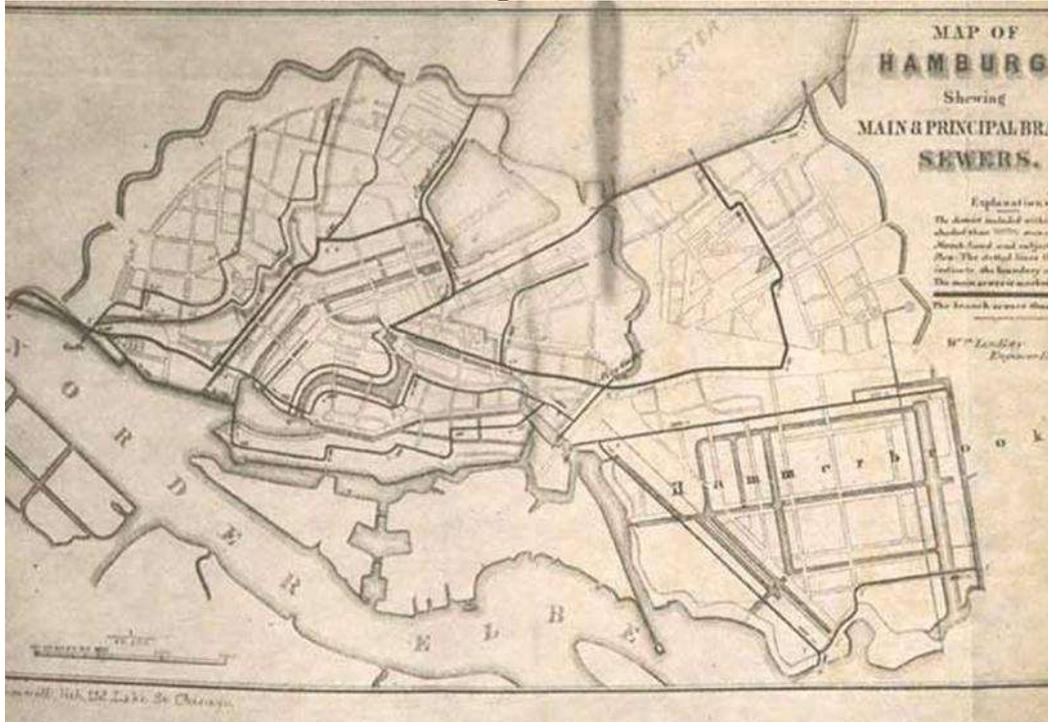
**Ilustración 1 Primeras conducciones de alcantarillado de aguas residuales - 1887**



**Fuente:** Water Foundation (2017)

Por otro lado, un evento importante en el campo del saneamiento fue la crisis de Hamburgo en 1842, la cual fue desencadenada por un incendio que resultó en la destrucción de aproximadamente una cuarta parte de la ciudad. Durante el proceso de reconstrucción, se implementó un nuevo sistema de alcantarillado que se basaba en un único sistema de drenaje de aguas residuales, utilizando el mar como fuente de limpieza y los desagües de los edificios conectados como puntos de ventilación. Además, surgieron diversas tecnologías aplicables a este sistema. A finales del siglo XIX, se comenzaron a utilizar avances en microbiología, y en 1914 se descubrieron los fangos activos, los cuales se utilizan hasta la actualidad para la depuración de materia orgánica.

## Ilustración 2 Alcantarillado de Hamburgo - 1857



Fuente: Water Foundation (2017)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) menciona en su informe del 2022 que en el año 1970 el tratamiento de aguas residuales adquirió una mayor importancia a nivel mundial, especialmente debido a la creciente preocupación por la contaminación del agua. Según se informa, en el 2020 aproximadamente el 45% de estas aguas residuales domésticas se vierten directamente sin haber sido sometidas a ningún proceso de depuración. Como consecuencia, la OMS estima que el 10% de la población mundial consume alimentos contaminados debido a un deficiente saneamiento, lo cual tiene un impacto negativo en el bienestar de la humanidad y su desarrollo.

Según Suez (2015), una de las primeras plantas construidas por SUEZ Environnement fue diseñada como carbono neutral y tenía la responsabilidad de tratar las aguas residuales generadas por la Cuenca de Cannes. Esta planta se destacaba por ser una de las pioneras a nivel mundial en eliminar por completo las emisiones de gases de efecto invernadero. Su proceso se basaba en la ultrafiltración mediante un biorreactor de membrana, lo que permitía obtener agua de calidad óptima y contribuir al cuidado del medio ambiente. Gracias a esta tecnología, el agua residual podía ser reutilizada para diversos fines, como riego de jardines, limpieza, entre otros.

### **2.1.2. Aguas Residuales**

En el artículo de Zarza (2020) se menciona que el término "agua residual" se utiliza para describir aquellas aguas que han sido afectadas de manera negativa por actividades humanas y que ya no conservan su calidad original. Estas aguas, comúnmente conocidas como "aguas negras", contienen una variedad de contaminantes y sustancias que las hacen inapropiadas para su uso y consumo directo.

Es preocupante que aproximadamente el 80% del agua residual generado a nivel mundial no sea tratado o reutilizado de manera adecuada, y en su lugar sea devuelto a su fuente original. Esta falta de tratamiento y gestión adecuada de las aguas residuales tiene consecuencias significativas en el ecosistema y en la salud pública.

Cuando el agua residual no es tratada, los contaminantes presentes en ella pueden tener un impacto negativo en los cuerpos de agua receptores, como ríos, lagos y océanos. Estos contaminantes pueden provocar la eutrofización, la cual es un proceso en el que se produce un crecimiento descontrolado de algas y plantas acuáticas debido al exceso de nutrientes en el agua, como nitrógeno y fósforo. Esto puede llevar a la falta de oxígeno en el agua y la muerte de la vida acuática, afectando negativamente los ecosistemas acuáticos.

Además, el agua residual sin tratar puede contener microorganismos patógenos y sustancias químicas tóxicas que representan un riesgo para la salud humana y animal. El consumo de agua contaminada puede provocar enfermedades como la hepatitis, la disentería y otras infecciones gastrointestinales.

Para abordar este problema, es fundamental implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales efectivos y promover prácticas de gestión sostenible del agua. El tratamiento adecuado de las aguas residuales permite eliminar o reducir los contaminantes presentes en el agua, haciéndola segura para su descarga o reutilización en actividades como la agricultura o el riego de áreas verdes.

En resumen, el adecuado tratamiento y gestión de las aguas residuales es crucial para proteger el medio ambiente, preservar la salud pública y garantizar el uso

sostenible de los recursos hídricos. Es responsabilidad de las autoridades, las industrias y la sociedad en general tomar acciones para promover una gestión adecuada de las aguas residuales y minimizar su impacto negativo en el ecosistema.

**Ilustración 3 Sistema del desarrollo de aguas residuales**



Fuente: Rodríguez, D. (2018)

**2.1.2.1. Aguas Residuales Domésticas.** Un estudio llevado a cabo por Macario Mendoza y otros (2021) evaluó el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el uso de un reactor anaerobio con el propósito de reutilizar los efluentes en cultivos agrícolas. Los resultados obtenidos revelaron que se lograron alcanzar valores de pH comprendidos entre 6 y 8, manteniendo una temperatura por debajo de los 35°C. En resumen, se determinó que la reutilización de los efluentes en cultivos agrícolas depende del tratamiento a través de un reactor anaerobio. Después de un periodo de tratamiento de 32 horas, se obtuvieron resultados satisfactorios, con un pH de 7.7, una concentración de sólidos suspendidos de 38 mg/l y un conteo de coliformes termotolerantes de 890 NMP/100ml.

Patricia Torres (2012), en un artículo, señaló que, en los países en desarrollo con problemas de saneamiento y recursos limitados, resulta esencial la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTARD) apropiadas y sostenibles desde el punto de vista técnico. La tecnología de digestión anaerobia se destaca como una opción clave en estas regiones de clima tropical y subtropical, debido a su capacidad para generar subproductos valiosos como

bioenergía, nutrientes y agua reutilizable. En América Latina, existe una amplia presencia de PTARD anaerobias, siendo el reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) el más utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

La empresa Webmaster (2021) señaló que las aguas residuales domésticas provienen de fuentes como la cocina y el baño, y contienen más que solo agua, incluyendo jabones, restos de comida y otros elementos. Estas aguas pueden contener productos químicos dañinos que afectan la vida acuática. Para hacer frente a este problema, se utilizan plantas de tratamiento y sistemas sépticos que eliminan los contaminantes mediante procesos físicos, biológicos y químicos.

**2.1.2.2. Aguas Residuales Industriales.** En el artículo "Tratamiento de aguas residuales industriales" publicado en el sitio web H2O (2020), se señala que las aguas residuales industriales son generadas por diversas industrias, como las petroleras, mineras, químicas y de manufactura de productos diversos. Estas aguas residuales pueden contener una variedad de contaminantes en función de la actividad industrial específica.

En el caso de las empresas petroleras, las aguas residuales pueden contener hidrocarburos, productos químicos utilizados en la extracción y refinación del petróleo, así como otros contaminantes asociados a esta industria. Las empresas mineras pueden generar aguas residuales con altas concentraciones de metales pesados y productos químicos utilizados en los procesos de extracción y tratamiento de minerales.

Las industrias químicas pueden producir aguas residuales con compuestos químicos diversos, como solventes, ácidos, bases y otros productos químicos utilizados en los procesos de fabricación. Las empresas de alimentos y bebidas generan aguas residuales con restos orgánicos, aceites y grasas, así como productos químicos utilizados en los procesos de producción y limpieza.

Es importante destacar que cada tipo de industria y proceso genera contaminantes específicos, por lo que el tratamiento de las aguas residuales industriales debe adaptarse a las características y necesidades de cada caso. Las normativas ambientales establecen límites y requisitos para la descarga de aguas residuales industriales, lo que implica la implementación de sistemas de tratamiento

adecuados para eliminar o reducir la presencia de los contaminantes antes de su vertido en los efluentes o en la red pública de aguas.

En conclusión, las aguas residuales industriales pueden contener una amplia gama de contaminantes dependiendo del tipo de industria y los procesos involucrados. El tratamiento adecuado de estas aguas es fundamental para proteger el medio ambiente y cumplir con las normativas ambientales vigentes.

### 2.1.3. Tipos de Tratamiento de Aguas residuales

Ilustración 4 Esquema de una Depuradora de aguas residuales



Fuente: Blog Dian (2013)

**2.1.3.1. Tratamiento Físico.** En el estudio realizado por Lander Rodríguez (2020), se destaca que el tratamiento de aguas residuales se lleva a cabo mediante diversos procesos, entre los cuales se incluye la separación física de los sólidos suspendidos presentes en el agua residual. El objetivo principal de este proceso es eliminar las partículas sólidas y mejorar la calidad del agua tratada.

El método utilizado para la separación física de los sólidos suspendidos depende de las características físicas y químicas de los contaminantes presentes en el agua residual. Factores como la viscosidad del agua, el tamaño de las partículas, su flotabilidad y densidad son considerados para determinar el proceso más adecuado a aplicar.

Entre los procesos más comunes utilizados en el tratamiento de aguas residuales se encuentran el desbaste, la sedimentación, la flotación y la filtración. El desbaste consiste en la eliminación inicial de los sólidos más grandes presentes en el agua, utilizando rejillas o cribas. Luego, la sedimentación permite que los sólidos más pesados se depositen en el fondo de un tanque o sedimentador, mientras que el agua clarificada se recoge en la parte superior. La flotación, por otro lado, utiliza la diferencia de densidades para separar los sólidos flotantes mediante la generación de microburbujas de aire. Por último, la filtración implica el paso del agua a través de medios filtrantes para retener las partículas sólidas presentes.

Es importante tener en cuenta que, en este proceso de separación física de los sólidos suspendidos, es común encontrarse con la presencia de sustancias como aceites y grasas. Estas sustancias pueden ser removidas mediante procesos de desengrase o separadores de aceite y grasa, los cuales utilizan diferentes métodos como la separación por gravedad o el uso de coagulantes y flotación.

**2.1.3.1.1. Desbaste.** En la página web Ingeoexperto (2020) se proporciona información detallada sobre el proceso de eliminación de sólidos gruesos en el tratamiento de aguas residuales. Según el sitio, este proceso implica la utilización de rejillas y/o tamices. Las rejillas son barras de acero inoxidable colocadas perpendicularmente al flujo de agua, ya sea de forma vertical o ligeramente inclinadas (30 a 45° con respecto a la horizontal). El espaciado entre las barras de las rejillas varía dependiendo del tamaño de los sólidos a retener, siendo de 50-100 mm para sólidos gruesos y de 3-10 mm para sólidos finos. Una vez que los sólidos en suspensión quedan atrapados en las rejillas, se utiliza un rascador, ya sea automático o manual, para removerlos.

En cuanto a los tamices, son mallas metálicas con una separación menor que la de las rejillas. Por lo general, se utilizan en plantas de tratamiento de aguas residuales más pequeñas o como una etapa secundaria de separación detrás de las rejillas. Los valores típicos de sólidos separados por barras o tamices oscilan entre 0,035 y 0,375 m<sup>3</sup> de sólidos por cada 100 m<sup>3</sup> de agua para las mallas, y entre 0,375 y 2,25 m<sup>3</sup> de sólidos por cada 100 m<sup>3</sup> de agua para los tamices.

Es importante destacar que este proceso de separación de sólidos gruesos mediante rejillas y tamices es una etapa inicial en el tratamiento de aguas residuales y contribuye a la eliminación de los contaminantes sólidos presentes en el agua antes de continuar con procesos adicionales de tratamiento.

**2.1.3.1.2. Sedimentación.** Según Ingeoexperto (2020), la sedimentación es un procedimiento sencillo que implica la separación de las fases sólidas y líquidas de una suspensión diluida mediante la acción de la gravedad, con el objetivo de obtener una suspensión concentrada y un líquido claro. La eficacia de la separación se basa en la diferencia de gravedad específica entre las partículas sólidas y el líquido. Cuanto mayor sea esta diferencia de densidad entre las dos fases, más fácil será llevar a cabo la separación.

Para llevar a cabo el proceso, se emplean sedimentadores de forma circular o rectangular, los cuales permiten la sedimentación de los sólidos en suspensión. Los tiempos de residencia en estos sedimentadores suelen variar entre 30 minutos y 4 horas. A través de la utilización de estos dispositivos, es posible eliminar hasta el 70% de la materia en suspensión presente en forma de lodo.

En el caso de un sedimentador rectangular, las aguas residuales ingresan por un extremo del tanque y fluyen hacia el otro extremo, permitiendo la separación de los sólidos en suspensión. Un vertedero ubicado en dicho extremo recoge el agua limpia mientras que los sólidos se depositan en el fondo del tanque. Para remover los lodos, se utilizan raspadores de madera o plástico que son accionados por cadenas y los dirigen hacia un colector en el extremo donde ingresa el agua restante. Además, el raspador realiza un movimiento de retorno sobre la superficie del tanque para recoger las espumas y llevarlas hacia los canales de recolección.

En cambio, en un sedimentador circular se emplea un brazo de skimmer que está conectado al raspador de lodos. A diferencia de los tanques rectangulares, los tanques circulares tienen un flujo horizontal. Los sólidos sedimentan en el fondo del tanque y son recogidos por los raspadores, los cuales dirigen los lodos hacia un tubo central donde se recolecta el agua depurada. Esta agua rebosa a través de un vertedero perimetral o central.

Tanto en el tanque rectangular como en el circular, el objetivo principal es lograr la separación efectiva de los sólidos de las aguas residuales, obteniendo así un efluente más limpio y reduciendo la cantidad de material en suspensión.

**Tabla 2 Datos de diseño en tanque de decantación**

Característica	Intervalo	Típico
Carga de superficie (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h)		
A caudal punta	3,4-5,1	4,25
A caudal medio	1,35-2,03	1,75
Tiempo de residencia (h)	1,5-2,5	2
Carga sobre vertedero (m <sup>3</sup> /m h)	5,16-20,6	10,32
Rectangular:		
Profundidad (m)	3-4,5	3,6
Longitud (m)	15-90	25-40
Anchura (m)	3-25	5-10
Velocidad de los raspadores (m/min)	0,6-1,2	0,9
Circular:		
Profundidad (m)	3-4,5	3,6
Longitud (m)	3-60	12-45
Anchura (m)	65-160	80
Velocidad de los raspadores (m/min)	0,02-0,05	0,03

**Fuente:** Ingeoexperto (2020)

**2.1.3.1.3. Flotación.** De acuerdo con Ingeoexperto (2020), la flotación es un proceso que se asemeja a la sedimentación en su objetivo de separar los componentes sólidos y líquidos de una suspensión basándose en las diferencias de densidad. No obstante, se distingue por su enfoque en la separación de sólidos que tienen la capacidad de flotar debido a su menor densidad en comparación con los líquidos, ya sea de forma natural o inducida.

En el caso de la flotabilidad inducida, se aprovecha la capacidad de ciertas partículas sólidas para adherirse a burbujas, principalmente de aire, formando agregados de partículas gaseosas que son menos densas que los líquidos. Para llevar a cabo el proceso de flotación mediante excitación en la fase líquida, se reduce

la presencia de aire hasta alcanzar una presión de 2 a 4 atmósferas, logrando la saturación del agua con el aire.

Mediante esta técnica de flotación, es posible separar selectivamente los sólidos de menor densidad, obteniendo un efluente más limpio y reduciendo la carga de sólidos en la suspensión tratada. Esto tiene aplicaciones en diversos campos, como el tratamiento de aguas residuales, la recuperación de materiales valiosos y la remoción de contaminantes.

**2.1.3.1.4. Filtración.** Según el sitio web Ingeoexperto (2020), la filtración es un proceso que implica el paso de una mezcla sólido-líquido a través de un medio poroso, conocido como filtro, que retiene los sólidos y permite el flujo del líquido filtrado. Este proceso consta de dos fases: la filtración propiamente dicha y el lavado o regeneración del filtro.

Durante la fase de filtración, se busca eliminar los sólidos suspendidos presentes en el agua mediante el uso de un lecho de gránulos. Estos gránulos actúan como medios filtrantes y capturan los sólidos a medida que el agua pasa a través de ellos. La eliminación de estos sólidos se lleva a cabo mediante mecanismos complejos que pueden implicar uno o varios mecanismos, dependiendo de las características del sistema. El proceso de filtración se considera completo cuando se alcanza el nivel máximo permitido de contenido en suspensión en el agua o cuando se registra una caída de presión preestablecida en el ciclo de filtración. En ambos casos, es necesario realizar una etapa de lavado o regeneración del filtro para eliminar los sólidos acumulados en el medio filtrante y restaurar su capacidad de retención.

La filtración es ampliamente utilizada en diversos sectores, como el tratamiento de agua potable, el tratamiento de aguas residuales, la industria alimentaria y la industria química, entre otros. Permite obtener agua o líquidos clarificados y libres de partículas sólidas, contribuyendo así a la mejora de la calidad del agua y a la protección del medio ambiente.

**2.1.3.2. Tratamiento Químico.** Otro punto dentro del tratamiento de aguas residuales que lo denota Aerzen en su página web, es el tratamiento químico en el cual para su procesamiento se va a requerir de métodos químicos. Para el cual se va

utilizar los valores establecidos de la sustancia química por la ley. La medida de químicos obedecerá al contaminante y conforme a este se dará una idea del reactivo que se puede introducir en el tratamiento. en el cual se hará una limpieza química dentro de las plantas de tratamiento y dentro de estos se encuentran la neutralización, la desinfección, la precipitación de fosfatos y desnitrificación, la descongelación y la eliminación de manganeso, etc.

**2.1.3.3. Tratamiento Biológico.** La empresa Telwesa (2022) indica que el tratamiento de aguas residuales implica la utilización de varios procesos de tratamiento, en los cuales los microorganismos, especialmente las bacterias, desempeñan un papel fundamental para eliminar los componentes solubles en agua. Estos procesos aprovechan la capacidad de los organismos para absorber la materia orgánica y nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, que se encuentran disueltos en las aguas residuales, lo que promueve su crecimiento. A medida que se reproducen, los microorganismos se agrupan y forman flóculos macroscópicos que tienen la masa crítica suficiente para sedimentarse en un tiempo razonable.

Es importante destacar que este método es ampliamente utilizado no solo para el tratamiento de aguas residuales domésticas, sino también para la mayoría de las aguas industriales, debido a su bajo costo operativo. Existen diferentes tipologías de sistemas de tratamiento, entre las cuales se incluyen el sistema aerobio, el sistema anaerobio y el sistema anóxico.

**2.1.3.3.1. Tratamiento Biológico Aerobio.** Condorchem Envitech (2023) destaca que en los sistemas aerobios de tratamiento de aguas residuales se aprovechan las capacidades de los microorganismos para absorber sustancias orgánicas y nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, que se encuentran disueltos en las aguas residuales con una saturación de oxígeno superior al 2%. Estos microorganismos se desarrollan en presencia de oxígeno, el cual actúa como aceptor de electrones, generando así la oxidación de la materia orgánica. Esta reacción específica asegura una alta producción de energía y la formación de grandes cantidades de lodo, lo que resulta en un alto crecimiento bacteriano en condiciones aeróbicas.

Existen diferentes tipos de reactores aeróbicos, como los de biomasa inmovilizada y los de biomasa suspendida. Al seleccionar el tipo de reactor adecuado, se deben tener en cuenta características como el tipo de agua residual (efluente), el proceso industrial que la produce, el grado de depuración requerido y las necesidades generales de los usuarios. Estos aspectos se detallan en la Tabla 3 y deben ser considerados cuidadosamente.

Sumado a esto Filtec (2013) menciona que todos los procesos biológicos dentro del tratamiento del agua tienen una disposición la que apremia la transformación de la materia orgánica sea biodegradable y que tenga una nula presencia de biocida en el afluente que en su gran mayoría estas son provenientes de la zona urbana, es decir son aguas residuales urbanas. Por consiguiente también se verá influenciada por, a) Las características del sustrato; b) Los nutrientes; c) Aportación de oxígeno; d) Temperatura; e) Salinidad; f) Inhibidores.

**Tabla 3 Condiciones de biomasa fija y biomasa en suspensión**

	Biomasa fija	Biomasa en suspensión
Espacio requerido	Bajo	Alto
CAPEX (costes de inversión)	Alto	Bajo
OPEX (costes de explotación)	Bajo	Alto
Eliminación de nutrientes	Baja	Alta
Flexibilidad de operación	Media-Baja	Alta
Respuesta a tóxico y/o inhibidores	Media-Baja	Alta

**Fuente:** Condorchem Envitech (2023)

**2.1.3.3.2. Tratamiento Biológico Anaerobio.** Según el sitio web de Agua, Energía y Medioambiente Servicios Integrales S.L.U. (2019), el proceso anaerobio es especialmente adecuado para tratar aguas residuales con altas concentraciones de sustancias orgánicas fácilmente biodegradables, y se caracteriza por la ausencia total de oxígeno disuelto, con un nivel menor al 2%. En este proceso, la materia orgánica presente en el agua residual actúa como sustrato y fuente de carbono.

El tratamiento anaerobio es especialmente apropiado para la industria alimentaria en general, siempre y cuando los productos utilizados sean de origen vegetal. En este tipo de procesos biológicos, el DQO (Demanda Química de Oxígeno),

la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) y el SSV (Sólidos Suspendidos Volátiles) se convierten de manera eficiente en pequeñas cantidades de biomasa y biogás, lo que permite su aprovechamiento energético.

La principal ventaja de este proceso es la producción de biogás, que puede ser utilizado para generar energía eléctrica y térmica. Esta energía puede ser autoconsumida en las instalaciones donde se realiza el tratamiento anaerobio. Además, este proceso genera una pequeña cantidad de lodo residual, que a menudo se puede sobreestimar en su producción.

La generación de biogás y la producción de energía eléctrica mediante el proceso anaerobio son aspectos destacados de este sistema de tratamiento, lo que lo convierte en una opción atractiva desde el punto de vista ambiental y energético. En la Tabla 4 se muestra una comparación entre el proceso anaerobio y otros sistemas de tratamiento, proporcionando información relevante para evaluar su eficiencia y viabilidad en diferentes contextos.

Según Balderas Salas y otros (2019) indican que, es aquel proceso donde interactúan un grupo de consorcio microbiano el cual transforma la materia orgánica en biogás (50%-70% metano; 30% a 50%  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono); pequeñas cantidades de  $\text{H}_2\text{S}$  (sulfuro de hidrógeno),  $\text{H}_2$  (hidrógeno) y mercaptano). Son la mejor alternativa debido a ser la más viable por su reducido consumo de energía y por su capacidad de eliminar los desechos orgánicos con alta demanda. Comprende de dos etapas: 1) fermentación ácida, en esta etapa se realiza la hidrólisis y la acetogénesis; 2) fermentación metanogénica en esta se suscita la acetogénesis y metanogénesis.

Por otra parte, se tiene los parámetros a los cuales este tratamiento se rige los cuales no son más que: a) temperatura, donde el valor recomendado por la normativa óptimo es de  $35^\circ\text{C}$ ; b) acidez, el cual el valor estimado del pH fluctúa entre 6.6-7.6; c) contenido de sólidos, es recomendable operar con un 10% menos de los sólidos; d) nutrientes, mejora al crecimiento y actividad de las bacterias las cuales necesitan C(carbono), N(nitrógeno), P(fósforo), S(azufre), sales minerales.

**Tabla 4 Comparación de sistemas Aerobio y Anaerobio**

	<b>Aerobio</b>	<b>Anaerobio</b>
Concentración de materia orgánica	DQO<3.000 mg/l	DQO<3.000 mg/l
Espacio requerido	Muy elevado	Pequeño
Eliminación de nutrientes	Posible	No es posible
CAPEX (costes de inversión)	Bajo	Elevado
OPEX (costes de explotación)	Elevado	Bajo

**Fuente:** Condorchem Envitech (2023)

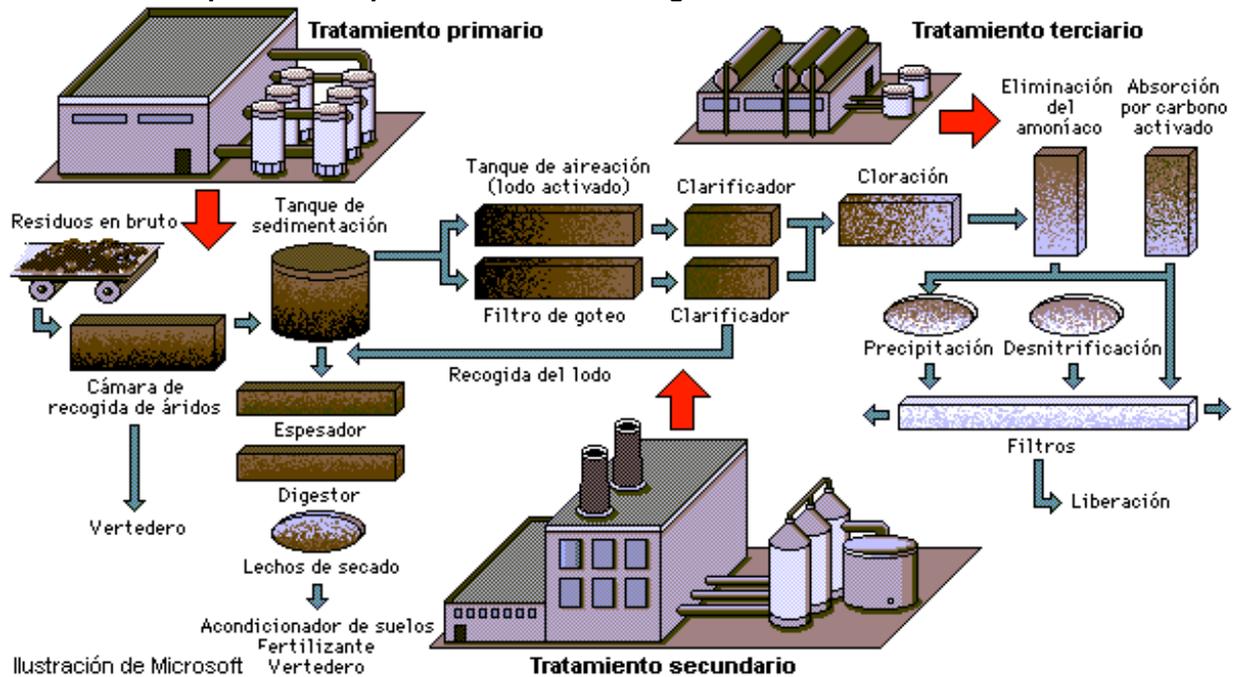
**2.1.3.3.3. Tratamiento Biológico Anóxico.** De acuerdo con la información proporcionada en el sitio web de la empresa Miraplas (2017), se utiliza el término "sistema" para referirse a un proceso en el cual el aceptor final de electrones no es ni el oxígeno ni la materia orgánica. Este proceso se lleva a cabo en condiciones anóxicas, específicamente en el proceso de desnitrificación, se basa en el uso de un aceptor final de electrones distinto al oxígeno y la materia orgánica, empleando un proceso de desnitrificación en condiciones anóxicas. Seguido a ello, transforma los compuestos nitrogenados en gas nitrógeno, contribuyendo a la eliminación de nutrientes. El tanque utilizado en este sistema cumple tanto con la eliminación del gas nitrógeno como con la homogeneización de las corrientes de alimentación.

En este proceso, los compuestos como los nitratos, nitritos, sulfatos e hidrógeno actúan como los aceptores finales de electrones. Cuando el nitrato es el aceptor final, el nitrógeno presente en la molécula de nitrato se transforma en gas nitrógeno a través de reacciones metabólicas. Es importante destacar que durante el proceso de desnitrificación se genera gas nitrógeno, el cual es eliminado mediante el uso de un agitador en el tanque.

Además de su función en el proceso de desnitrificación, el tanque también desempeña un papel importante en la homogeneización de las corrientes de alimentación. Su diseño permite mezclar de manera adecuada los flujos entrantes, garantizando un caudal uniforme y una distribución homogénea de los componentes en el sistema.

## 2.1.4. Etapas de Tratamiento de Aguas Residuales

Ilustración 5 Esquema de etapas de tratamiento de aguas residuales



Fuente: Water Technologies (2019)

**2.1.4.1. Pretratamiento.** En Cyclus (2012) se considera que, esta etapa incluye todos los procedimientos que se desarrollan al inicio de una planta depuradora, con el fin de eliminar las grasas, residuos sólidos y arenas, ya que estas deben ser separadas porque podría causar daño a los equipamientos mecánicos de las siguientes fases, trayendo consigo la sedimentación de las mismas en las tuberías o conductos, obstruyendo el paso y reduciendo la eficacia del tratamiento. En este proceso se pueden usar rejillas o tamices, ayudando así a separar del efluente la mayor parte de materia.

En Veolia (2023) se define como pretratamiento a la etapa principal en donde busca la supresión de impurezas como los sólidos suspendidos, coloides y organismos con vida dentro del agua bruta. En adición buscan garantizar la calidad del agua no se inflencie por los cambios de estaciones, condiciones climáticas extrema. Este proceso de pretratamiento se lo refiere al tratamiento de agua convencional sea de aguas residuales o agua potable.

En otras palabras, la etapa de pretratamiento en una planta depuradora, se llevan a cabo una serie de procedimientos clave para eliminar las grasas, residuos sólidos y arenas presentes en el agua residual. Estos elementos deben ser separados

adecuadamente, ya que podrían causar daños en los equipos mecánicos utilizados en las fases posteriores del tratamiento. Si no se realiza una adecuada separación, estos materiales podrían sedimentarse en las tuberías o conductos, obstruyendo el flujo y reduciendo la eficacia del tratamiento.

Para lograr esta separación, se utilizan técnicas como el uso de rejillas o tamices, que permiten retener y separar la mayor parte de la materia sólida presente en el efluente. Esto ayuda a proteger los equipos y facilita el proceso de tratamiento posterior.

En el ámbito del tratamiento de agua, tanto en el caso de aguas residuales como de agua potable, el pretratamiento juega un papel fundamental. En esta etapa, se busca eliminar impurezas como los sólidos suspendidos, coloides y organismos vivos presentes en el agua bruta. El objetivo principal es garantizar que la calidad del agua no se vea afectada por cambios estacionales o condiciones climáticas extremas.

El pretratamiento forma parte esencial del tratamiento convencional del agua, ya que permite remover los contaminantes más gruesos y facilita la posterior aplicación de procesos de tratamiento más especializados. Además, contribuye a mantener la integridad de los sistemas de tratamiento y a mejorar la eficiencia global del proceso.

**2.1.4.2. Tratamiento Primario.** En el informe presentado por Acuatecnica SAS (2018), se resalta que el tratamiento primario de las aguas residuales se enfoca en la eliminación de los sólidos suspendidos presentes en el agua. Este proceso tiene como objetivo principal reducir la carga contaminante al remover los sólidos más gruesos y no disueltos en el agua residual.

Existen diversas metodologías utilizadas en el tratamiento primario de aguas residuales, entre las cuales se destacan la coagulación-floculación, la sedimentación, la filtración y la cloración. Estas técnicas permiten alcanzar una reducción significativa de los sólidos suspendidos y la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno).

El proceso de coagulación-floculación se basa en la adición de sustancias químicas conocidas como coagulantes, que promueven la aglomeración de los sólidos suspendidos en partículas más grandes llamadas flóculos. Luego, el proceso

de sedimentación facilita la separación de los flóculos sedimentables, que se depositan en el fondo del tanque, de forma que el agua clarificada se recolecta en la parte superior.

La filtración es otra etapa fundamental del tratamiento primario, en la cual el agua pasa a través de medios filtrantes, como arena o carbón activado, para retener partículas sólidas más finas y lograr una mayor purificación del agua.

Finalmente, la cloración se utiliza para desinfectar el agua, eliminando los microorganismos patógenos presentes. El cloro es añadido en dosis controladas, garantizando la eliminación de bacterias, virus y otros agentes infecciosos.

En general, se estima que el tratamiento primario logra remover aproximadamente el 60% de los sólidos suspendidos y alrededor del 35% de la DBO presente en las aguas residuales. Estos porcentajes pueden variar dependiendo de las características del agua a tratar y las condiciones específicas de cada planta de tratamiento.

Es importante destacar que el tratamiento primario es solo la primera etapa en el proceso general de tratamiento de aguas residuales y se complementa con procesos secundarios y terciarios para lograr una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes y obtener un efluente de calidad antes de su descarga al medio ambiente.

**2.1.4.3. Tratamiento Secundario.** Según el informe presentado por Spena Group (2021), el tratamiento secundario de aguas residuales se basa en una serie de etapas, principalmente de naturaleza biológica, que hacen uso de microorganismos para llevar a cabo la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. Durante este proceso, la materia orgánica es constantemente degradada por los microorganismos, lo que resulta en la formación de sólidos suspendidos que son más fáciles de eliminar.

En el tratamiento secundario también se lleva a cabo la eliminación de impurezas de menor tamaño en comparación con el tratamiento primario. Esto incluye la eliminación de sustancias disueltas y partículas finas que no fueron completamente removidas en la etapa anterior.

El tratamiento secundario emplea tanto procesos aerobios como anaerobios para lograr una eliminación eficiente de la materia orgánica. En los procesos aerobios, se proporciona oxígeno a los microorganismos para que lleven a cabo la descomposición de la materia orgánica mediante la respiración aerobia. Esto se puede lograr mediante el uso de sistemas de aireación, como los reactores de lodos activados.

Por otro lado, los procesos anaerobios se llevan a cabo en ausencia de oxígeno y se utilizan para la degradación de la materia orgánica en condiciones anaerobias. En estos procesos, los microorganismos descomponen la materia orgánica sin la presencia de oxígeno, produciendo biogás como subproducto.

El tratamiento secundario es fundamental para lograr una mayor purificación del agua residual, ya que permite la eliminación de una gran cantidad de la carga orgánica presente en el agua. Al finalizar esta etapa, el efluente tratado ha alcanzado niveles significativamente más bajos de materia orgánica biodegradable, lo que contribuye a reducir el impacto ambiental y proteger la salud pública.

Es importante destacar que el tratamiento secundario es complementario al tratamiento primario y se considera una etapa esencial en el proceso general de tratamiento de aguas residuales. Además, este proceso puede combinarse con otras técnicas avanzadas, como la desinfección, para asegurar que el efluente final cumpla con los estándares de calidad establecidos antes de su descarga o reutilización.

**2.1.4.4. Tratamiento Terciario.** De acuerdo con Alberto Valdivieso (2020), los tratamientos terciarios son procesos adicionales que se aplican para eliminar contaminantes específicos presentes en el agua residual, tanto en forma coloidal como suspendida. Estos tratamientos son diseñados con el propósito de mejorar aún más la calidad del agua tratada, permitiendo su reutilización como un recurso alternativo en diversas aplicaciones, como riego o limpieza.

Los tratamientos terciarios implican el uso de tecnologías físicas y químicas avanzadas para lograr la eliminación de contaminantes específicos. Algunas de las tecnologías más comunes utilizadas en el tratamiento terciario incluyen la filtración, la flotación con aire disuelto, las oxidaciones avanzadas, las membranas de filtración y la desinfección.

La filtración se utiliza para eliminar partículas finas y sólidos suspendidos que no fueron removidos en etapas anteriores del tratamiento. Puede involucrar el uso de diferentes tipos de medios filtrantes, como arena, carbón activado o membranas, dependiendo de las características del agua y los contaminantes presentes.

La flotación con aire disuelto es un proceso en el cual se inyecta aire en el agua residual, formando pequeñas burbujas que se adhieren a los contaminantes presentes. Esto permite que los contaminantes se eleven hacia la superficie del agua, donde pueden ser eliminados mediante un mecanismo de separación.

Las oxidaciones avanzadas son procesos químicos que implican la adición de agentes oxidantes más potentes para degradar contaminantes orgánicos persistentes que no se eliminan completamente en etapas anteriores del tratamiento. Así mismo, las membranas de filtración son utilizadas para retener contaminantes a través de poros microscópicos, permitiendo la separación de partículas, microorganismos y compuestos disueltos no deseados.

La desinfección es un proceso final que se realiza para eliminar microorganismos patógenos y reducir los riesgos para la salud asociados al agua tratada. Se utilizan diferentes métodos de desinfección, como el uso de cloro, ozono, luz ultravioleta o dióxido de cloro.

Los tratamientos terciarios son esenciales para asegurar que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad requeridos para su reutilización o descarga segura. Estos procesos adicionales permiten eliminar contaminantes específicos y mejorar la calidad del agua, ampliando así las posibilidades de uso y contribuyendo a la conservación de los recursos hídricos.

## 2.1.5. Tipos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

Ilustración 6 Tipos de PTAR



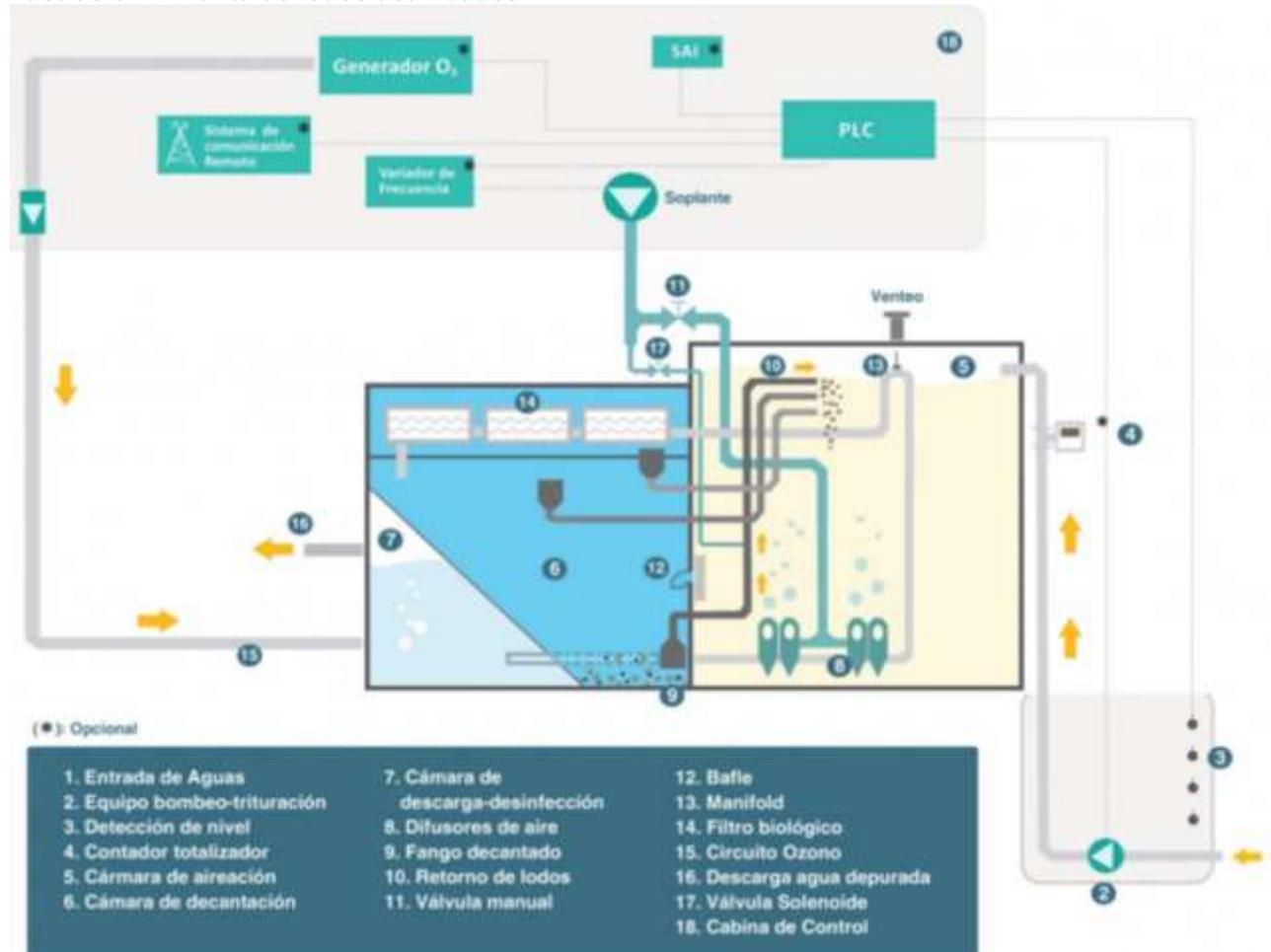
Fuente: Boris (2021)

**2.1.5.1. Planta de Lodos Actividades.** Según Alberto Valdivieso (2020), las plantas de tratamiento utilizan un proceso basado en la actividad de microorganismos, principalmente bacterias heterótrofas facultativas, que se encuentran presentes en el agua residual. Estos microorganismos descomponen la materia orgánica disuelta en productos más simples. Estas plantas son comúnmente utilizadas tanto en aplicaciones municipales como industriales.

El proceso comienza con una etapa de caracterización del agua residual. Luego, el agua ingresa al reactor, donde se encuentra un cultivo de microorganismos conocido como "licor mezclado". Durante esta etapa, se suministra aire al sistema, ya sea por difusión o mediante aireación, para proporcionar el oxígeno necesario para la actividad microbiana.

A continuación, el agua tratada junto con los microorganismos y los subproductos de la descomposición se dirigen a un tanque de sedimentación secundaria. En este tanque, se lleva a cabo la separación entre el agua tratada y los microorganismos. El agua tratada se separa y se retira del sistema, mientras que parte de la biomasa formada regresa al reactor para mantener una concentración adecuada de microorganismos. El material restante, conocido como "lodo residual", se considera un subproducto del proceso y se maneja como desecho.

**Ilustración 7 Planta de lodos actividades**



**Fuente:** Soluciones Medioambientales y Aguas, S.A (2016)

**2.1.5.2. Planta de Filtro Aireado Sumergido.** En Boss Tech (2022), se destaca el uso ampliamente extendido de las plantas de tratamiento conocidas como SAF (Sistemas de Aireación por Flujo Superficial). Estas plantas son altamente apreciadas debido a su bajo requerimiento de mantenimiento, la escasez de componentes mecánicos y su manejo sencillo. Su capacidad para operar sin la necesidad constante de personal las convierte en una solución eficiente y práctica para el tratamiento de aguas residuales, tanto en entornos industriales como domésticos.

Una de las características destacadas de estos sistemas es su capacidad de eliminar lodos de manera automatizada, lo que garantiza un funcionamiento continuo y sin interrupciones. Esta automatización contribuye a la confiabilidad y conveniencia de las plantas SAF en el tratamiento de aguas residuales. Su diseño y tecnología

permiten un proceso eficiente y efectivo, logrando altos niveles de calidad en el tratamiento del agua.

**Ilustración 8 Planta de filtro aireado sumergido**



Fuente: Boss Tech (2022)

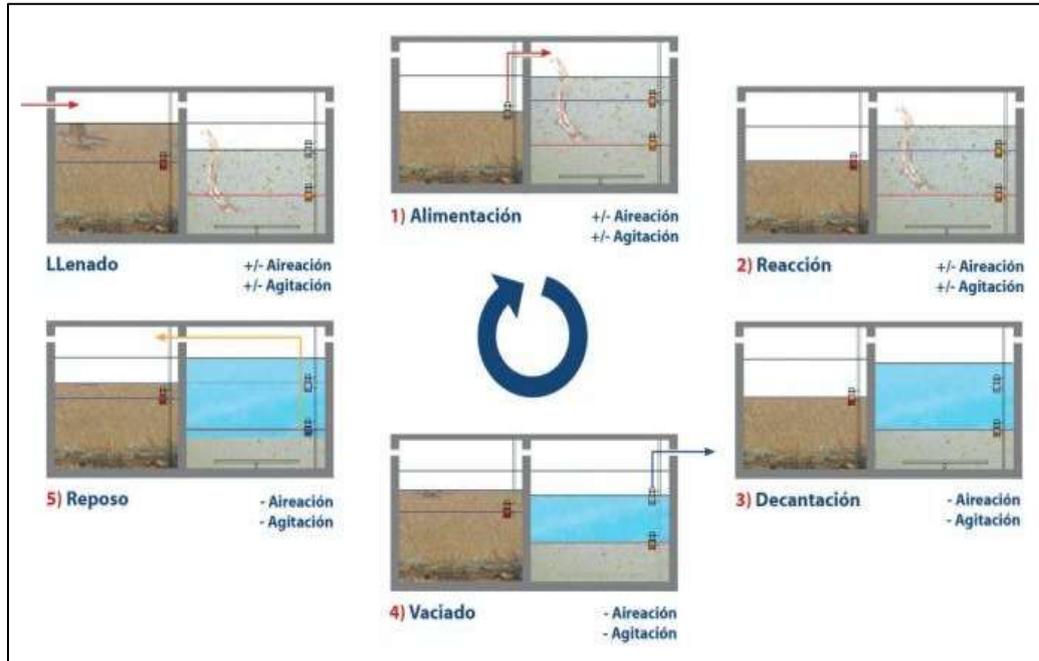
**2.1.5.3. Planta de Reactores Discontinuos Secuenciales.** De acuerdo con la información proporcionada por Bio Azul (2023), se hace mención a la metodología de un reactor discontinuo secuencial (SBR, por sus siglas en inglés), la cual se relaciona con los procesos de lodos activados debido a la similitud de los parámetros involucrados. Un SBR es un sistema que se caracteriza por su secuencia de llenado y vaciado. Consiste en un tanque que cuenta con una cámara destinada al procesamiento y la sedimentación del agua.

En este sistema, el agua es tratada en varios ciclos. Durante cada ciclo, se mezcla con un lodo biológico en un entorno aireado. Esta mezcla permite lograr una eficiente eliminación de contaminantes, garantizando una limpieza del 99% en el agua tratada. El proceso de aireación y la presencia de microorganismos en el lodo biológico desempeñan un papel fundamental en la degradación de la materia orgánica y otros contaminantes presentes en el agua residual.

El reactor discontinuo secuencial (SBR) se caracteriza por su flexibilidad y capacidad para adaptarse a diferentes cargas de contaminación. Además, su diseño permite una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes y una mejor gestión de los lodos generados. Estas características hacen que el SBR sea ampliamente

utilizado en el tratamiento de aguas residuales en diversas aplicaciones, tanto a nivel municipal como industrial.

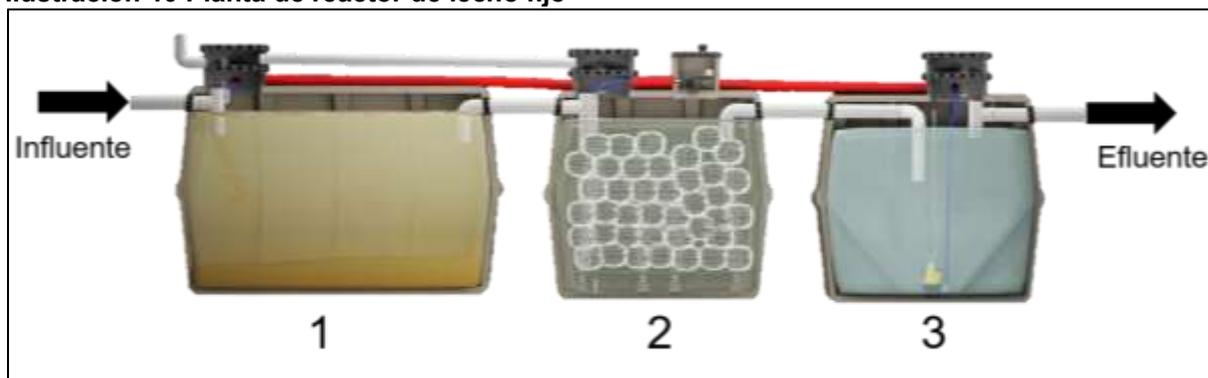
**Ilustración 9 Planta de reactores discontinuos secuenciales**



Fuente: Bio Azul (2023)

**2.1.5.4. Planta de Reactor de lecho Fijo.** En Boss Tech (2022) se señaló que, la planta consiste en una combinación de los recursos y de la aireación para tratar los residuos de una determinada parte. Esta se diferencia de las demás porque usa 3 cámaras, una para su sedimentación primaria, otra para un tratamiento secundario y la última para una sedimentación final. Este proceso empieza con los residuos fluyendo y pasando por las 3 cámaras, al ya estar el agua tratada, es decir, donde los sólidos ya están en el fondo, el efluente pasa a ser expulsado fuera del tanque.

**Ilustración 10 Planta de reactor de lecho fijo**



Fuente: SSTP (2018)

### 2.1.6. Planta De Tratamiento Químicamente Asistida

El informe investigativo realizado por Chagnon & F. Harleman (2018), destaca el Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT, por sus siglas en inglés) como un proceso que emplea sales metálicas para favorecer la coagulación y sedimentación más eficiente de las partículas suspendidas en el agua en los sedimentadores primarios. Esto resulta en una mejora significativa en la eficiencia del tratamiento. El CEPT se presenta como una alternativa más rentable y eficiente en comparación con el tratamiento primario convencional, lo que permite reducir el tamaño de las instalaciones de tratamiento y aumentar la capacidad de las plantas existentes. Además, es importante destacar que el proceso CEPT también facilita la eliminación de sólidos en suspensión y otros contaminantes, como algunos compuestos orgánicos y metales pesados presentes en el agua residual. Asimismo, se ha observado que la adición de polímeros junto con las sales metálicas mejora aún más la eficiencia de sedimentación y la eliminación de materia orgánica en el proceso CEPT. Esta técnica resulta particularmente valiosa en áreas donde el espacio y los recursos son limitados, ya que su implementación requiere menos infraestructura y tiene un menor impacto ambiental.

**Tabla 5 Comparación de costes de tratamiento**

	Costo de capital (\$/103m <sup>3</sup> .d-1)	Costo O&M (\$/106m <sup>3</sup> )	Costo total (\$/106m <sup>3</sup> )
Tratamiento primario convencional	(3.1-4.2)	(0.8-0.9)	(1.7-2.1)
Primario convencional + Tratamiento secundario biológico	(9.1-9.8)	(1.2-1.6)	(3.5-4.3)
Tratamiento químicamente biológico	(4.2-5.3)	(0.9-1.1)	(2.1-2.6)

**Fuente:** Muñoz, A. (2023)

El CEPT mejora la eficiencia del tratamiento de aguas residuales a través de la coagulación y la floculación química, seguidas de la sedimentación del floc. Según una encuesta de 100 plantas de tratamientos residuales en los Estados Unidos, concuerda que el CEPT es más eficiente que el tratamiento primario convencional y es muy competitivo con el tratamiento secundario biológico. El CEPT es ideal para una ciudad costera donde la eliminación de sólidos suspendidos totales (SST) es alta y la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es suficiente para no impactar las concentraciones de oxígeno en el océano. El CEPT es un método de

tratamiento menos costoso para desinfectar adecuadamente el efluente en países en desarrollo donde la desinfección es la principal prioridad.

**Tabla 6 Comparación de eficiencia de eliminación**

	SST %	DBO %
Tratamiento primario convencional	55	35
Primario convencional + Tratamiento secundario biológico	91	85
Tratamiento químicamente biológico	85	57

Fuente: Muñoz, A. (2023)

### **2.1.7. Químicos más Usados en el Tratamiento de Aguas Residuales**

Liplata (2021) resalta la importancia de los productos químicos en el tratamiento de agua, cuyo propósito es eliminar las impurezas y garantizar que sea segura para el consumo humano y adecuada para su uso industrial. La selección y cantidad de estos productos químicos se basan en el origen y calidad del agua, considerando factores como el pH, alcalinidad, dureza y presencia de sólidos. Es fundamental adaptar la elección de los productos químicos a las características específicas del agua y a las necesidades particulares del proceso de tratamiento.

Dentro de los productos químicos utilizados en el tratamiento de agua, se encuentran los coagulantes, que ayudan a aglutinar partículas suspendidas para facilitar su eliminación; los floculantes, que favorecen la formación de flóculos para una sedimentación más eficiente; los desinfectantes, que eliminan microorganismos patógenos para garantizar la seguridad microbiológica del agua; los ajustadores de pH, que regulan el nivel de acidez o alcalinidad; los oxidantes, que pueden destruir contaminantes orgánicos; los eliminadores de oxígeno, que reducen el contenido de oxígeno disuelto en el agua; y los agentes antiespumantes, que controlan la formación de espuma.

La adecuada elección y dosificación de estos productos químicos en el tratamiento de agua es esencial para lograr una depuración efectiva y alcanzar los estándares requeridos en términos de calidad del agua. La aplicación de estos químicos debe ser cuidadosamente monitoreada y ajustada según las condiciones específicas del agua a tratar, asegurando así la eficiencia del proceso y el cumplimiento de los objetivos de calidad del agua establecidos. La comprensión de

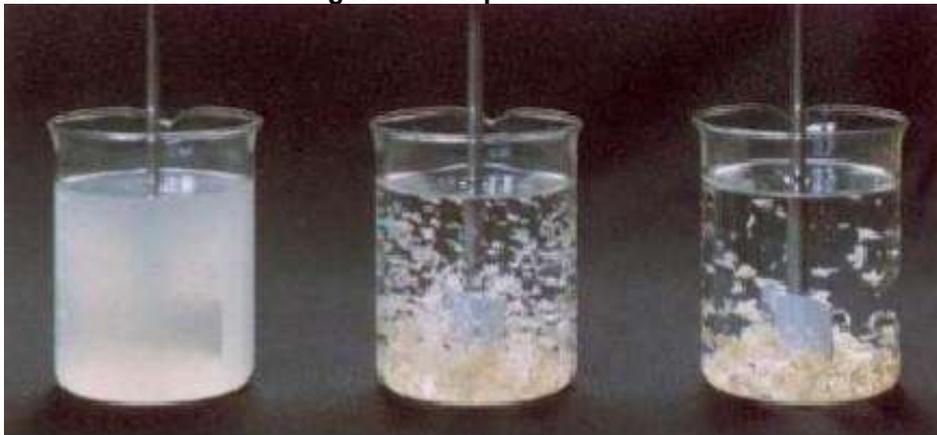
las propiedades y funciones de cada producto químico es clave para lograr una gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos en las plantas de tratamiento.

**2.1.7.1. Coagulantes.** En el sitio web de Contyquim (2022) se destaca que los coagulantes son sustancias químicas utilizadas en el tratamiento del agua con el objetivo de eliminar partículas coloidales y promover la formación de flóculos más grandes que se sedimenten con mayor rapidez. Estos coagulantes pueden ser de naturaleza inorgánica, orgánica o una combinación de ambas.

Los coagulantes inorgánicos contienen iones metálicos catiónicos que desempeñan un papel importante en la neutralización de la carga negativa de las partículas coloidales presentes en el agua. Al entrar en contacto con el agua, estos iones catiónicos interactúan con las partículas coloidales, neutralizando su carga negativa y permitiendo su aglomeración en forma de flóculos.

Por otro lado, los coagulantes orgánicos utilizan moléculas que contienen aminas ( $\text{NH}_4^+$ ) unidas a la estructura molecular. Estas aminas también desempeñan un papel fundamental en la neutralización de la carga negativa de las partículas coloidales, lo que facilita la formación de flóculos. Tanto los coagulantes inorgánicos como los orgánicos buscan neutralizar la carga negativa de las partículas coloidales, lo que conduce a la formación de flóculos más grandes y pesados. Estos flóculos sedimentan con mayor rapidez, lo que facilita su posterior separación y remoción del agua tratada.

**Ilustración 11** Uso de coagulantes en pruebas de laboratorio



Fuente: Verlek (2019)

En el ámbito del tratamiento de aguas residuales, los coagulantes desempeñan un papel crucial en la eliminación de partículas coloidales y la formación de flóculos.

Estas sustancias químicas pueden ser de naturaleza inorgánica, orgánica o una combinación de ambas, y su función principal es neutralizar la carga negativa de las partículas coloidales presentes en el agua.

Los coagulantes inorgánicos, como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico, contienen iones metálicos catiónicos que interactúan con las partículas coloidales cargadas negativamente. Estos iones catiónicos neutralizan la carga negativa de las partículas, lo que facilita su aglomeración en forma de flóculos más grandes y pesados. Estos flóculos sedimentan con mayor rapidez, lo que permite su posterior separación y remoción del agua tratada.

Por otro lado, los coagulantes orgánicos utilizan moléculas que contienen aminas ( $\text{NH}_4^+$ ) en su estructura molecular. Estas aminas también actúan como agentes neutralizadores de la carga negativa de las partículas coloidales, promoviendo la formación de flóculos. Al igual que los coagulantes inorgánicos, los coagulantes orgánicos favorecen la sedimentación de los flóculos formados, lo que facilita su eliminación del agua tratada.

Tanto los coagulantes inorgánicos como los orgánicos tienen como objetivo principal neutralizar la carga negativa de las partículas coloidales presentes en el agua. Al lograr esta neutralización, se facilita la formación de flóculos más grandes y pesados, lo que contribuye a una sedimentación más rápida y eficiente. Esto a su vez facilita la separación y remoción de las partículas coloidales del agua tratada, mejorando así la calidad del efluente final.

En conclusión, los coagulantes desempeñan un papel fundamental en el tratamiento de aguas residuales al promover la formación de flóculos y facilitar la remoción de partículas coloidales. Tanto los coagulantes inorgánicos como los orgánicos tienen como objetivo común neutralizar la carga negativa de las partículas coloidales, lo que favorece su aglomeración y sedimentación. La elección del tipo de coagulante dependerá de las características específicas del agua a tratar y de los requisitos del proceso de tratamiento.

**Ilustración 12 Coagulante más usado en una PTAR**



**Fuente:** Vel International Chemicals (2018)

La prueba de jarras es un procedimiento estándar utilizado para determinar la cantidad adecuada de coagulante y el tiempo necesario para la floculación en muestras de agua cruda. Esta prueba es fundamental para aplicar los resultados obtenidos a una escala mayor durante el proceso de tratamiento. La elección de la cantidad y el tipo de coagulante depende de las condiciones específicas del proceso y de factores externos, como las condiciones ambientales y las variaciones en el agua cruda debido a eventos climáticos, como fuertes lluvias.

Existen dos tipos principales de coagulantes utilizados en la prueba de jarras: los coagulantes orgánicos y los coagulantes inorgánicos. Los coagulantes inorgánicos más comúnmente empleados son el sulfato de aluminio y el cloruro férrico. Estos coagulantes desempeñan un papel crucial en la formación de flóculos, lo que permite la eliminación de partículas suspendidas y materia orgánica presentes en el agua cruda.

Es esencial aplicar y dosificar correctamente los coagulantes para lograr una eficacia óptima en el proceso de tratamiento. Esto implica determinar la cantidad exacta de coagulante necesaria y el tiempo de floculación adecuado para lograr una sedimentación eficiente de los flóculos formados. Además, es importante considerar las características específicas del agua cruda y realizar ajustes en la dosificación de coagulante según sea necesario para adaptarse a las condiciones cambiantes.

En resumen, la prueba de jarras es una herramienta clave en el tratamiento de aguas que permite determinar la cantidad y el tipo de coagulante adecuados para

lograr una óptima eliminación de partículas y materia orgánica. La correcta dosificación y aplicación de los coagulantes inorgánicos, como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico, son fundamentales para obtener resultados efectivos en el proceso de tratamiento de aguas.

**Ilustración 13 Prueba de Jarras**



Fuente: R-Chemical (2016)

#### **2.1.7.1.1. Tipos de Coagulantes más Usados.**

**2.1.7.1.1.1. Sulfato de Aluminio.** Según Produalipac (2020), es un compuesto sólido y blanco con la fórmula química de  $Al_2(SO_4)_3$ , utilizado ampliamente por su conveniencia físico-química, primordialmente como agente coagulante y floculante en un tratamiento primario ya sea en plantas de AAPP o plantas de AR. Su desarrollo principal es aglutinar y agrupar los sólidos en suspensión presentes en el agua, lo que acelera la sedimentación. Contribuyendo a la reducción de carga bacteriana facilitando la eliminación del sabor y color no deseado en el agua, cabe resaltar que se lo puede encontrar de forma: molido fino, molido grueso y superfino.

Rodríguez y otros (2020) realizaron una evaluación de eficiencia del sulfato de aluminio como coagulante en el tratamiento de aguas residuales producidas por la industria avícola. Para lo cual, se llevó a cabo pruebas a escala de laboratorio utilizando muestras del agua residual antes de un separador de aceites y grasas de la planta avícola buscando parámetros de coagulación, floculación y sedimentación. Dentro de las pruebas realizadas una muestra se la evaluó sin coagulantes y las demás fueron probadas con diferentes concentraciones del sulfato que variaron de

los 200 a 400 mg/l. Además, se hizo una comparación de parámetros como la eliminación de DQO, SST, SSV, turbidez, color, aceites y grasas, antes y después del tratamiento con el coagulante. Dando como resultado remociones de los parámetros superiores al 74%.

**2.1.7.1.1.2. Cloruro Férrico.** Según la información proporcionada por el sitio web Aguas Residuales.Info (2021), se destaca el cloruro férrico como un compuesto químico altamente versátil con propiedades únicas. Su capacidad para formar flóculos lo convierte en un componente valioso con diversas aplicaciones, especialmente en el tratamiento de aguas residuales, aguas industriales y agua potable.

El cloruro férrico actúa como coagulante en estos procesos, permitiendo la agrupación de partículas y sólidos suspendidos presentes en el agua. Esta capacidad de formar flóculos facilita su posterior separación y eliminación durante los procesos de tratamiento. Por lo tanto, el cloruro férrico se considera una opción popular y efectiva para mejorar la calidad del agua.

Al utilizar cloruro férrico como coagulante, se logra una mejora significativa en la calidad del agua tratada y se aumenta la eficacia de los procesos generales dentro de la planta de tratamiento. En comparación con otros productos químicos, el cloruro férrico destaca por su alta eficiencia y rendimiento, lo que facilita los procesos de clarificación y sedimentación, logrando una mayor remoción de contaminantes.

El cloruro férrico tiene una ventaja adicional debido a su capacidad para actuar como agente oxidante. Esto significa que no solo promueve la formación de flóculos, sino que también contribuye a la destrucción de microorganismos y compuestos orgánicos indeseables presentes en el agua. Esto es especialmente beneficioso en el tratamiento de aguas residuales, donde la eliminación de contaminantes microbiológicos es de suma importancia.

Otra característica destacada del cloruro férrico es su estabilidad y capacidad para funcionar eficientemente en una amplia gama de condiciones, como variaciones de pH y temperaturas. Esto lo convierte en una opción versátil para diferentes tipos de aguas y procesos de tratamiento.

Es importante mencionar que el uso de cloruro férrico debe realizarse siguiendo las pautas y regulaciones establecidas, ya que su dosificación y manejo adecuados son fundamentales para garantizar resultados óptimos y cumplir con los estándares de calidad ambiental.

**2.1.7.2. Floculantes.** Según la información proporcionada por Seo Simple (2023), se destaca que los floculantes son sustancias utilizadas para promover la unión de las partículas coloidales presentes en el agua, en un proceso conocido como floculación. Estos agentes tienen la función de disminuir las fuerzas de repulsión entre los contaminantes disueltos en el agua, lo cual permite que las partículas se agrupen formando flóculos más grandes que pueden ser eliminados fácilmente mediante la filtración.

En ciertos casos, se pueden añadir coagulantes durante el proceso de floculación para mejorar la formación de flóculos de sedimentación rápida, especialmente cuando la turbidez del agua es baja. La presencia de partículas finas y sólidas suspendidas contribuye a aumentar la turbidez en el agua residual. Sin embargo, mediante el uso de floculantes, estas partículas se aglutinan y se vuelven más fáciles de separar.

Los floculantes son sustancias empleadas para facilitar la unión de las partículas coloidales en el agua durante el proceso de floculación. El uso de floculantes ayuda a reducir la turbidez y a separar las partículas finas y sólidas suspendidas en el agua residual.

Los floculantes son agentes químicos que desempeñan un papel fundamental en el proceso de floculación del agua. Estas sustancias se utilizan para promover la unión de partículas coloidales presentes en el agua, facilitando su aglomeración en forma de flóculos más grandes. Esto permite una fácil separación y remoción de las partículas durante la filtración y otros procesos de tratamiento.

Los floculantes actúan disminuyendo las fuerzas de repulsión entre las partículas coloidales, lo que permite que se acerquen y se adhieran entre sí. De esta manera, las partículas se agrupan y forman flóculos más grandes, lo que mejora su sedimentación y facilita su posterior remoción del agua.

Es importante destacar que los floculantes se utilizan en combinación con otros procesos de tratamiento, como la coagulación, para lograr una mayor eficiencia en la remoción de partículas y la clarificación del agua. Los coagulantes ayudan a neutralizar la carga eléctrica de las partículas, mientras que los floculantes promueven su aglomeración y formación de flóculos.

La presencia de partículas finas y sólidos suspendidos en el agua residual contribuye a aumentar la turbidez. Sin embargo, mediante el uso de floculantes, estas partículas se aglutinan y se vuelven más fáciles de separar, lo que conduce a una disminución significativa en la turbidez del agua tratada.

**Ilustración 14 Polímero catiónico - Floculante o ayudante de floculación**



**Fuente:** Ingeniería Liquid Technologies (2018)

**2.1.7.3. Desinfectantes.** Lenntech (2018) menciona que la desinfección del agua es un proceso importante para eliminar microorganismos patógenos y hacer que el agua sea potable y segura. La eliminación de estos microorganismos es crucial ya que pueden causar enfermedades. La desinfección se logra mediante el uso de desinfectantes químicos o físicos que también pueden extraer contaminantes orgánicos del agua que pueden ser alimento o hábitat para los microorganismos. Es importante que los desinfectantes no solo maten a los microorganismos, sino que también tengan un efecto residual para prevenir la contaminación del agua después del proceso de desinfección. Esto garantiza que el agua siga siendo segura a largo plazo.

La desinfección del agua es un proceso esencial para garantizar la potabilidad y seguridad del agua al eliminar los microorganismos patógenos presentes en ella.

Estos microorganismos pueden ser causantes de enfermedades y representan un riesgo para la salud humana. Por lo tanto, la desinfección del agua es fundamental para proteger la salud pública.

Existen diferentes métodos de desinfección que se utilizan para eliminar los microorganismos. Los desinfectantes pueden ser químicos o físicos. Los desinfectantes químicos, como el cloro, el dióxido de cloro, el ozono y las cloraminas, se agregan al agua en concentraciones adecuadas para eliminar los microorganismos presentes. Estos desinfectantes actúan destruyendo las estructuras celulares de los microorganismos y neutralizando su capacidad de reproducción.

Por otro lado, los desinfectantes físicos, como la radiación ultravioleta y la irradiación con luz ultravioleta, también se utilizan para desinfectar el agua. Estos métodos emplean la radiación electromagnética para destruir los microorganismos presentes en el agua. La radiación ultravioleta altera el material genético de los microorganismos, impidiendo su reproducción y causando su muerte.

Es importante destacar que los desinfectantes no solo deben eliminar los microorganismos presentes en el agua, sino que también deben tener un efecto residual. De esta manera, se garantiza que el agua siga siendo segura y libre de microorganismos patógenos a largo plazo.

**Tabla 7 Microorganismos patógenos en aguas residuales relacionadas con diversas enfermedades**

Patógeno	Enfermedad
<b>Bacterias</b>	
Campylobacter enteritis	Gastroenteritis
Campylobacter jejuni	Gastroenteritis
Escherichia coli	Gastroenteritis
Legionella pneumophila	Legionelosis
Leptospira spp.	Leptospirosis
Pseudomonas aeruginosa	Diversas infecciones
Salmonella paratyphi	Fiebres paratifoideas
Salmonella schottmuelleri	Fiebres paratifoideas
Salmonella spp.	Salmonelosis
Salmonella typhi	Fiebres paratifoideas
Shigella spp.	Disentería bacteriana(shigelosis)
Vibrio cholerae	Cólera
<b>Virus</b>	
Adenovirus	Enfermedades respiratorias y conjuntivitis
Enterovirus, coxsackievirus, echovirus y virus de la poliomielitis	Enfermedades respiratorias-Poliomielitis
Virus de la Hepatitis A(VHA)	Hepatitis a
Parvovirus	Gastroenteritis
Reovirus	Gastroenteritis
Rotavirus	Gastroenteritis
Virus de Norwalk	Gastroenteritis

**Nota:** Parte 1 de los microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales relacionado con las enfermedades que provoca

**Fuente:** Salas, J. (2020)

**Tabla 8 Microorganismos patógenos en aguas residuales relacionadas con diversas enfermedades**

Patógeno	Enfermedad
<b>Helmintos</b>	
Ascaris lumbricoide	Ascariasis
Ancylostoma duodenale	Anquilostomiasis
Enterobius vermicularis	Enterobiasis
Fasciola hepática	Fascioliasis
Hymenolepis nana	Hymenolepiasis
Schistosoma haematobium	Esquistosomiasis
Taenia saginata	Teniasis
Taenia solium	Teniasis
Trichuris trichiura	Trichuriasis
<b>Protozoos</b>	
Balantidium coli	Balantidiasis(disentería)
Cryptosporidium parvum	Criptosporidiosis
Entamoeba histolytica	Disentería amebiana
Giardia lamblia	Giardiasis
Naegleria fowleri	Meningoencefalitis amebiana

**Nota:** Parte 2 de los microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales relacionado con las enfermedades que provoca

**Fuente:** Salas, J. (2020)

**Tabla 9 Promedios de concentración de indicadores en aguas residuales de zonas urbana**

Parámetro	Coliformes fecales	E. Coli	Estreptococos	Clostridium perfringens	Fagos somáticos	Fagos F+	Giardia Spp.
UFC/100ml	6.99	7.27	6.07	5.44	6.35	5.58	3.03

**Fuente:** Salas, J. (2020)

**Tabla 10 La eliminación de microorganismos patógenos en el tratamiento de aguas residuales puede variar en función del tipo de tratamiento utilizado.**

Eliminación			
Tipos De Tratamiento	Tipos Microorganismo Patógenos		
	Bacteria	Huevos de helmintos	Virus
Sedimentación primaria	0-1	0-2	0-1
Tratamiento primario físico-químico	1-2	1-3	0-1
Lodos activados	0-2	0-2	0-1
Biofiltración	0-2	0-2	0-1
Lagunas aireadas	1-2	1-3	1-2

Fuente: Salas, J. (2020)

**Tabla 11 Comparación y características de los desinfectantes**

Parámetro	Cloro libre	Cloro combinado	Dióxido de cloro	Ozono	Luz ultravioleta
Efectividad en desinfección de Bacterias	Excelente	Bueno	Excelente	Excelente	Bueno
Efec. Desin. Virus	Excelente	En el límite	Excelente	Excelente	En el límite
Efec. Desin. Protozooario	Deficiente	Deficiente	Bueno	Bueno	Excelente
Efec. Desin. Endoespora	Deficiente	Deficiente	En el límite	Excelente	En el límite
Concentración máxima de residual	4 mg/l	4 mg/l	0.8 mg/l	-	-
Formación de subproductos químicos regulados	Forma 4 especies de THM y 5 especies de HAA	Forma trazas de THM y HAA	Clorito	Bromato	Ninguno
Dosis típica de aplicación (mg/l)	1-6	2-6	0.2-1.5	1-5	20-100mJ/cm <sup>2</sup>
THH= Trihalometanos Ácidos HAA= Haloaceticos					

Fuente: MWH's Water Treatment (2012)

**2.1.7.4. Ajustadores de pH.** Air Liquide en el 2019 enfatiza que el pH es un indicador del carácter ácido o básico de una solución, que se mide en una escala de 0 a 14 utilizando un pH metro. Una solución es neutral cuando tiene un pH de 7, mientras que por debajo de 7 es ácida y por encima es básica. Un ácido puede neutralizarse cuando se encuentra con una base o una solución básica. En Europa, se establece un valor máximo de pH de 8.5 para las aguas vertidas al medio natural. Analizar las aguas es necesario y obligatorio para medir la eficacia del tratamiento de aguas, ya que ciertos parámetros pueden influir en el pH, como la presencia de carbonato cálcico que puede aumentar el pH y mineralizar el agua.

En el análisis de aguas residuales, el pH juega un papel crucial en la evaluación de la eficacia del tratamiento y en la determinación de su impacto en el medio ambiente. El pH puede influir en la solubilidad de diversos compuestos químicos presentes en el agua, así como en la capacidad de los microorganismos para metabolizar la materia orgánica.

Un pH adecuado es fundamental para mantener un equilibrio en los ecosistemas acuáticos y asegurar que el agua tratada cumpla con los estándares ambientales establecidos. Un pH demasiado bajo o demasiado alto puede ser perjudicial para la vida acuática y puede afectar negativamente la calidad del agua.

La presencia de carbonato cálcico, por ejemplo, puede aumentar el pH del agua y llevar a la mineralización. Esto puede ser problemático, ya que la mineralización puede causar la formación de incrustaciones en las tuberías y equipos de tratamiento de aguas, reduciendo su eficiencia y aumentando los costos de mantenimiento.

Por otro lado, es importante tener en cuenta que el pH no es el único parámetro a considerar en el análisis de aguas residuales. Otros parámetros como la DQO, DBO, turbidez, presencia de metales pesados, entre otros, también deben evaluarse para obtener una imagen completa de la calidad del agua tratada.

En resumen, el pH es un indicador clave en el análisis de aguas residuales y desempeña un papel fundamental en la evaluación de la eficacia del tratamiento y el impacto en el medio ambiente. Es importante monitorear y ajustar el pH dentro de los

límites establecidos para garantizar que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad y sea compatible con el ecosistema acuático.

**2.1.7.5. Oxidantes.** Severo Ochoa (2017) en el sitio web de la Universidad Complutense de Madrid dice que los agentes oxidantes en una PTAR, son componentes químicos que oxidan a las demás sustancias, es decir, este se convierte en un oxigenante o una sustancia que transfiere átomos de oxígeno. Este proceso de oxidación es una etapa que permite la rescisión de compuestos orgánicos dentro de las aguas residuales, los cuales están bastantes diluidos para aplicar cualquier otro proceso que involucre un tratamiento biológico. Es así que la materia orgánica se transforma en componentes más simples, ayudando a su tratamiento.

En una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), los agentes oxidantes desempeñan un papel fundamental en el proceso de tratamiento de las aguas residuales. Estos agentes químicos tienen la capacidad de oxidar y descomponer las sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales, convirtiéndolas en componentes más simples y más fácilmente tratables.

El proceso de oxidación es esencial en las etapas iniciales del tratamiento de aguas residuales, ya que permite la descomposición de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales diluidas. Estas sustancias orgánicas pueden ser difíciles de tratar mediante procesos biológicos, por lo que el uso de agentes oxidantes resulta crucial.

Los agentes oxidantes actúan como donantes de átomos de oxígeno, facilitando la oxidación de las sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales. Esto provoca la ruptura de los enlaces químicos de los compuestos orgánicos, transformándolos en componentes más simples y menos contaminantes.

Entre los agentes oxidantes más utilizados se encuentran el cloro, el permanganato de potasio y el peróxido de hidrógeno. Estos agentes se dosifican en las etapas iniciales del proceso de tratamiento de las aguas residuales, antes de pasar a las etapas de tratamiento biológico.

Es importante destacar que el uso de agentes oxidantes debe ser controlado y dosificado de manera adecuada para evitar efectos negativos en el medio ambiente

y garantizar la eficiencia del proceso de tratamiento. Además, se deben cumplir las normativas y regulaciones correspondientes para el uso seguro y adecuado de los agentes oxidantes en las PTAR.

Por último, los agentes oxidantes son componentes químicos utilizados en las PTAR para oxidar y descomponer las sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales. Estos agentes desempeñan un papel esencial en el proceso de tratamiento, permitiendo la transformación de la materia orgánica en componentes más simples y facilitando su posterior tratamiento.

**2.1.7.6. Eliminadores de Oxígeno.** Industriapedia (2022) muestra que los eliminadores de oxígenos son sustancias químicas utilizadas para evitar la corrosión causada por el oxígeno en diferentes industrias. Estos se aplican según las necesidades y condiciones específicas. Estos compuestos absorben oxígeno y forman sustancias inofensivas, reduciendo la corrosión en los sistemas protegidos. Su fabricación varía en diversos métodos los cuales han sido patentados por industrias como la de tratamientos de aguas, la alimentaria y la de empaques. Estos componentes deben ser seguros, eficientes y capaces de resistir condiciones extremas.

Por otro lado, Rashid & Khadom (2020) pusieron a prueba el sulfito de sodio como inhibidor de oxígeno en la protección contra la corrosión del acero en una solución simulada de aguas residuales de refinería. Se realizó experimentos donde se determinó las condiciones óptimas de temperatura, concentración de inhibición y tiempo de exposición que lograrán una velocidad de corrosión mínima. Este elemento demostró una mejora en la morfología de la superficie del acero y redujo los niveles de oxígeno.

**2.1.7.7. Agentes Antiespumantes.** De acuerdo con Concentrol (2020), en los tratamientos realizados en la PTAR, tanto primario, secundario como terciario es normal la presencia de espuma debido al movimiento del líquido en los diversos procesos y a su vez a causa de la aireación que provoca. Por este motivo, se utilizan los agentes antiespumantes, con el fin de controlar y eliminar la espuma del agua tratada, evitando irregularidades en las etapas de tratamiento. Estos productos químicos son de gran importancia en sectores industriales y domésticos por su eficaz

función usando dosificaciones pequeñas. Además, se deben seguir las recomendaciones del fabricante y realizar un monitoreo regular para ajustar la dosificación de los agentes según sea necesario.

### **2.1.8. DBO**

Conforme a Induanalisis (2019) la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), hace referencia a la cuantía de oxígeno presentes en los microorganismos, en especial en las bacterias sean estas aerobias o anaerobias, los hongos, entre otros organismos que se alimentan durante la degradación de sustancias orgánicas contenidas en el efluente. Por ende, este parámetro se utiliza para la medición del valor de contaminación, realizándose durante 5 días de forma estándar, tomando así el nombre de DBO5.

Tomando en consideración lo dicho por Henze y otros (2017), también se indica que la DBO evalúa la cantidad de oxígeno consumido en el proceso de oxidación de una porción de materia orgánica. La prueba estándar de DBO se la conoce como DBO5 la cual se la efectúa en un lapso de 5 días. Aunque en ocasiones se emplean alternativas como DBO1 esta se la pide cuando se requiere una determinación rápida, o DBO7 cuando se prioriza la simplicidad como son los casos de los países de Suecia y Noruega. Para evaluar la totalidad o su gran mayoría de la materia orgánica biodegradable se usa el DBO25.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro utilizado para medir la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos durante la degradación de sustancias orgánicas presentes en el efluente. Este parámetro es importante para evaluar el nivel de contaminación del agua y se mide comúnmente durante un período de 5 días, conocido como DBO5.

La DBO5 es una prueba estándar en la que se evalúa la cantidad de oxígeno consumido durante 5 días de oxidación de una porción de materia orgánica. Sin embargo, en algunos casos se pueden utilizar alternativas como la DBO1, que proporciona una determinación más rápida, o la DBO7, que se utiliza cuando se prioriza la simplicidad en el análisis, como en los casos de los países de Suecia y Noruega.

Para evaluar la totalidad o la mayoría de la materia orgánica biodegradable presente en el agua, se utiliza la DBO25. Esta prueba se realiza durante un período de 25 días y proporciona una estimación más completa de la carga orgánica presente en el efluente.

Es importante destacar que la DBO es una medida indirecta de la contaminación y se utiliza como una herramienta para evaluar la calidad del agua. Los resultados de la DBO pueden influir en el diseño y la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como en la toma de decisiones relacionadas con la gestión y conservación de los recursos hídricos.

**Tabla 12 Relación de DBO y DQO en aguas residuales urbanas**

Db01	Db05	DBO7	DBO25	DQO
40	100	115	150	210
200	500	575	750	1100

**Fuente:** Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño (2017)

**Tabla 13 Variación de la carga por habitante**

Parámetro	Unidad	Intervalo
DQO	g/hab. d	25-200
DBO	g/hab. d	15-80
Nitrógeno	g/hab. d	2-15
Fosforo	g/hab. d	1-3
Caudal	m <sup>3</sup> /hab. d	0.05-0.40

**Fuente:** Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño (2017)

**Tabla 14 Distribución de materia soluble y suspendida para una concentración media de aguas residuales**

Parámetro	Soluble	Suspendido	Total
DQO	300	450	750
DBO	140	210	350
N total	50	10	60
P total	11	4	15

**Fuente:** Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño (2017)

**Tabla 15 Degradabilidad de aguas residuales de concentración media**

Parámetro	Biodegradable	Inerte	Total
DQO total	570	180	750
DQO soluble	270	30	300
DQO particuladas	300	150	450
DBO	350	0	350
N total	43	2	45
N orgánico	13	2	15
P total	14.7	0.3	15

**Fuente:** Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño (2017)

**2.1.8.1. DBO Soluble.** De acuerdo al libro Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización (1995), la Demanda Bioquímica de Oxígeno soluble o DBOS se refiere a la fracción de la DBO total presente en el agua que se encuentra disuelta en forma de compuestos orgánicos soluble. Es una medida que indica la cantidad de oxígeno necesaria para degradar la materia orgánica soluble presente en el agua. La DBO soluble está compuesta por diversos compuestos orgánicos solubles como azúcares, alcohol, ácidos orgánicos y otros compuestos que se puedan disolver en el agua. Es fundamental evaluar y considerar la DBO soluble en el tratamiento de aguas residuales, ya que estos compuestos pueden ser biodegradables y contribuir a la demanda de oxígeno en el agua. La medición de la DBO soluble es importante para comprender la carga de materia disuelta y determinar los procesos de tratamientos adecuados para su eliminación.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno soluble (DBOS) es una fracción de la DBO total que se encuentra en el agua en forma de compuestos orgánicos solubles. Estos compuestos, como azúcares, alcohol y ácidos orgánicos, son capaces de disolverse en el agua y contribuir a la demanda de oxígeno en el medio acuático. La DBOS es una medida importante para evaluar la carga de materia orgánica soluble presente en el agua y determinar los procesos de tratamiento adecuados para su eliminación.

La medición de la DBOS es esencial en el tratamiento de aguas residuales, ya que los compuestos orgánicos solubles pueden ser biodegradables y consumir oxígeno durante el proceso de descomposición. La evaluación de la DBOS nos permite comprender la cantidad de oxígeno requerida para degradar los compuestos

orgánicos solubles presentes en el agua, lo cual es fundamental para diseñar sistemas de tratamiento eficientes.

Al considerar la DBOS en el diseño y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales, se pueden seleccionar los procesos y técnicas adecuadas para eliminar eficazmente los compuestos orgánicos solubles. Esto ayuda a garantizar que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad establecidos y contribuye a la protección del medio ambiente.

**2.1.8.2. DBO Particulado.** Cañón Zambrano (2005) señala en su investigación que la Demanda Bioquímica de Oxígeno particulado o DBOC es una medida utilizada para cuantificar la cantidad de oxígeno requerida para descomponer la materia orgánica presente en formas de partículas suspendidas en el agua, mediante procesos biológicos. Se refiere específicamente a la fracción de materia orgánica que se encuentra en forma de partículas, como restos de alimentos, residuos vegetales, microorganismos y otros compuestos orgánicos suspendidos los cuales pueden ser evaluada y analizada de manera separada. Este parámetro es parte integral de la medición más amplia de la DBO en el agua. La determinación y consideración de la DBO particulada es importante en el tratamiento de aguas residuales ya que las partículas suspendidas pueden demandar procesos de tratamientos diferenciados para su eliminación además de influir en la calidad general del agua.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno particulado (DBOC) es una medida utilizada para estimar la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica presente en forma de partículas suspendidas en el agua. Esta fracción de materia orgánica incluye restos de alimentos, residuos vegetales, microorganismos y otros compuestos orgánicos suspendidos que pueden ser evaluados y analizados de manera separada. La DBOC forma parte integral de la medición más amplia de la DBO en el agua.

La determinación y consideración de la DBOC es fundamental en el tratamiento de aguas residuales, ya que las partículas suspendidas pueden requerir procesos de tratamiento diferenciados para su eliminación. Estas partículas pueden influir significativamente en la calidad general del agua y en los procesos de tratamiento. La evaluación de la DBOC nos permite comprender la carga de materia orgánica

particulada presente en el agua y diseñar estrategias de tratamiento adecuadas para su remoción eficiente.

Es importante destacar que la DBOC puede ser evaluada de forma separada de la DBO soluble, lo que permite un análisis más detallado de la composición y las características de la materia orgánica en el agua residual. Esto proporciona información valiosa para seleccionar los procesos y tecnologías más apropiados para la eliminación de las partículas suspendidas.

### **2.1.9. DQO**

En el sitio web Induanalisis (2019) al DQO se lo conoce como la demanda química de oxígeno del agua, refiriéndose al valor o cantidad de oxígeno que se necesita la materia orgánica para oxidar a través de procedimientos químicos y convertirla en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O). Por consiguiente, a mayor presencia de DQO más contaminación hay en el agua, esta prueba tiene resultados en menor tiempo, ya que se realiza usualmente en 3 horas aproximadamente. Del mismo modo este parámetro engloba el DBO.

Según la información proporcionada por Induanalisis (2019), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se refiere al valor o cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica presente en el agua a través de procesos químicos. Durante este proceso, la materia orgánica se convierte en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O).

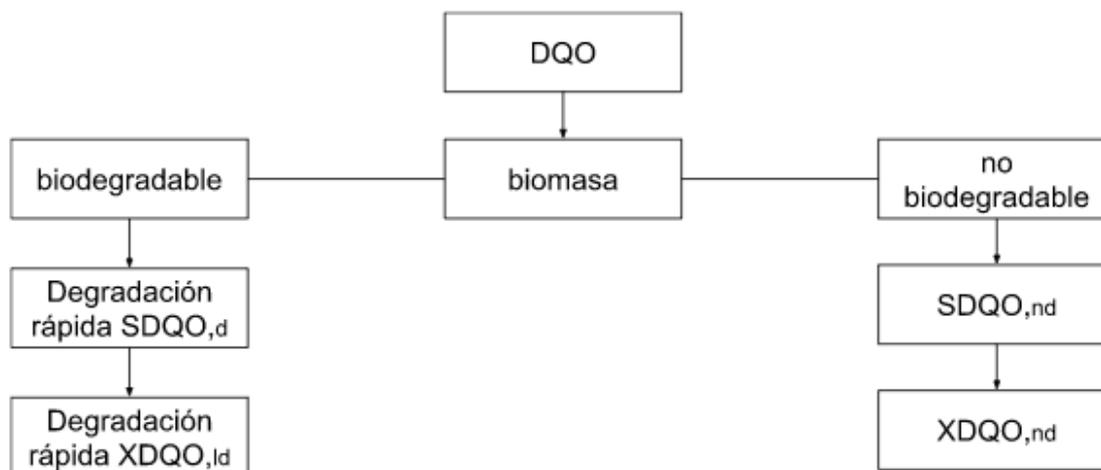
La DQO es utilizada como un indicador de la contaminación del agua, ya que a mayor concentración de DQO, mayor es la carga de contaminantes orgánicos presentes. A diferencia de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la prueba de DQO es más rápida, generalmente tomando alrededor de 3 horas para obtener resultados.

Es importante destacar que el parámetro de DQO engloba el concepto de DBO, el cual se refiere a la Demanda Bioquímica de Oxígeno y mide la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en el agua. Sin embargo, a diferencia de la DBO, la DQO utiliza métodos químicos para medir la cantidad total de materia orgánica oxidable en el agua.

En cuanto a Menéndez Gutiérrez & Dueñas Moreno (2018) resalta que la demanda química de oxígeno en el afluente puede incluir tanto componentes solubles como componentes particulados. Estos dos tipos de compuestos contribuyen a la cantidad total de demanda química de oxígeno presente en el agua residual antes de someterse al tratamiento y está definido por la siguiente fórmula:

$$DQO_0 = SDQO_0 + XDQO_0$$

Ilustración 15 Esquema del fraccionamiento de la DQO sin detallar



Fuente: Menéndez & Dueñas (2018)

**2.1.9.1. DQO Soluble ( $XDQO_0$ ).** Menéndez Gutiérrez & Dueñas Moreno (2018) subrayan que la demanda química de oxígeno soluble ( $SDQO_0$ ) se determina en el agua residual, ya sea en el influente o en el efluente, después de pasar por un filtro de  $0,45 \mu m$ . Esta medida incluye fracciones biodegradables ( $SDQO_{o,d}$ ), no biodegradables ( $SDQO_{o,nd}$ ) y lentamente biodegradables ( $SDQO_{o,ld}$ ) dando una ecuación 1,  $SDQO_0 = SDQO_{o,d} + SDQO_{o,nd} + SDQO_{o,ld}$ . Sin embargo, por conveniencia, a menudo se considera que la fracción lentamente biodegradable es material particulado. Por lo tanto, la ecuación 2 se simplifica para calcular la demanda química de oxígeno soluble como la suma de las fracciones biodegradables y no biodegradables,  $SDQO_0 = SDQO_{o,d} + SDQO_{o,nd}$ . La concentración de ( $SDQO_{o,nd}$ ) en el influente se estima indirectamente a partir de la SDQO soluble en el efluente ( $SDQO_e$ ) como  $SDQO_{o,nd} = SDQO_e$ .

Estas ecuaciones y la estimación de la fracción no biodegradable en el influente permiten evaluar y comprender la composición de la demanda química de

oxígeno soluble en el agua residual. Esto es importante para determinar los procesos de tratamiento adecuados y diseñar estrategias de remoción de contaminantes de manera efectiva.

En resumen, el estudio de Menéndez Gutiérrez & Dueñas Moreno (2018) proporciona una metodología para calcular y estimar la demanda química de oxígeno soluble en el agua residual, considerando diferentes fracciones y simplificaciones. Esto contribuye a una mejor comprensión de la composición de la SDQO<sub>o</sub> y ayuda en la planificación y diseño de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

**2.1.9.2. DQO Particulado ( $XDQO_o$ ).** Menéndez Gutiérrez & Dueñas Moreno (2018) indica que la DQO particulada se refiere a la materia orgánica que queda atrapada en un filtro de 0,45  $\mu m$  al pasar el agua residual. Para calcular la DQO particulada en el influente ( $XDQO_o$ ), se resta de la DQO soluble ( $SDQO_o$ ) de la DQO total ( $DQO_o$ ), quedando  $XDQO_o = DQO_o - SDQO_o$ . Debido a la hidrólisis necesaria para que la materia orgánica particulada se biodegrade, se considera que toda fracción biodegradable es de lenta biodegradación ( $XDQO_o = XDQO_{o,ld}$ ). Por lo tanto, la DQO particulada en el influente se calcula sumando la fracción lentamente biodegradable y la fracción no biodegradable  $XDQO_o = XDQO_{o,ld} + SDQO_{o,nd}$ .

Este enfoque permite calcular la cantidad de materia orgánica particulada presente en el agua residual y distinguir entre las fracciones biodegradables y no biodegradables. La estimación de la DQO particulada en el influente es importante para comprender la carga de contaminantes y diseñar estrategias de tratamiento adecuadas que aborden específicamente esta fracción de la DQO.

## 2.2. Marco Referencial

Este marco referencial se desarrolló a partir de diferentes resultados y datos obtenidos en varias investigaciones y estudios realizados por otros autores, los cuales fueron necesarios para el desarrollo del presente trabajo. Por consiguiente, serán presentados a lo largo de este capítulo haciendo referencia al objetivo de la investigación y a su vez le dará validez al tema de estudio.

En primer lugar, Feria Díaz y otros (2014) mencionaron que, para llevar a cabo su investigación, fue necesario seleccionar, secar, moler y tamizar las semillas de

Moringa (*Moringa oleífera*) para obtener un polvo. Este polvo de semillas de Moringa se utilizó como coagulante natural para la clarificación de la turbidez en un río. Los resultados mostraron una eficiencia de remoción superior al 90% en rendimientos iniciales superiores a 90 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez). Sin embargo, en rendimientos iniciales inferiores a 66 UNT, la eficiencia de remoción fue menor, oscilando entre el 70% y el 85%. Por lo tanto, se concluyó que la Moringa es un coagulante efectivo, confiable y económico para la eliminación de la turbidez.

En base a los resultados obtenidos por Ospina (2020), se subraya la relevancia de evaluar el arranque inicial de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) con el objetivo de prevenir posibles problemas tanto en términos de salud como ambientales. Se identificó como problema principal la carencia de un diseño adecuado, lo cual resultó en una alta contaminación del agua, afectando parámetros como el pH, la alcalinidad, el DQO y el DBO, entre otros. Por consiguiente, se propuso la implementación de una fase preliminar, una fase de diagnóstico y una fase de seguimiento para lograr un control adecuado del arranque inicial en los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Por un lado, se llevó a cabo un análisis realizado por Alvarado Portilla & Valencia Ramírez (2021) en la cuenca sur "Las Esclusas", la cual vierte las aguas residuales al río Guayas con un tratamiento previo insuficiente, abarcando el centro y sur de la ciudad de Guayaquil. Los resultados revelaron implicaciones de contaminación biológica que afectan la salud y satisfacción de la población. Por lo tanto, se consideró de vital importancia realizar un estudio previo a la construcción de una planta de tratamiento para evitar la descarga indiscriminada de efluentes de aguas residuales, obteniendo así información sobre los factores fisicoquímicos presentes en dichas aguas.

En el estudio realizado por Wentzel y otros (1999), se hizo hincapié en la importancia de considerar la materia orgánica en función de su clasificación de tamaños, que va desde lo soluble hasta lo granular (particulado). Desde una perspectiva bioquímica, esta clasificación se relaciona con la biodegradabilidad de la materia orgánica, es decir, su capacidad para descomponerse mediante procesos biológicos. Dentro de las aguas residuales, se pueden encontrar diferentes tipos de materia orgánica.

Además, es necesario identificar las formas de sustancias orgánicas capturadas en una planta de tratamiento de aguas residuales y evaluar los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO) asociados a estas sustancias. El parámetro de DQO proporciona una medida de la carga orgánica presente en las aguas residuales y es utilizado para evaluar la cantidad de materia orgánica que requiere de oxígeno durante su descomposición.

Morant Carmona (2017) indica que la forma del agua contaminada que llega a las plantas de tratamientos es muy variada y cambiante. Lo que provoca una complejidad al momento de que se ejecute los procesos en esta planta. Tomando en consideración lo mencionado anteriormente hay que conocer cuáles son las formas de agua contaminada receptadas en las PTAR. Estas serían: 1) DQO fácilmente biodegradable (Ss.); 2) DQO lentamente biodegradable (Xs); 3) DQO soluble no biodegradable (Si); y 4) DQO particulada no biodegradable (Xi). Ahora bien, ya definidos los tipos de agua contaminada, se facilita el proceso de tratamiento y agilizando el mismo.

La evaluación de dosificación de cloruro férrico para una planta de tratamientos hecho por Campo Chapeña & Tobar Olave (2011), manifestó que para la coagulación de aguas residuales en la calidad más diluida se requiere mayor dosis de coagulante, debido a que al estar en ese estado el agua obstruye el encuentro entre las partículas lo que causa la coagulación y el posterior arrastre de los flocs. Además, dado a la cantidad de Ph que presentó la dosificación adecuada, se dedujo que el mecanismo de coagulación predominante en el estudio fue el de barrido.

Haciendo referencia a un análisis de rendimiento de una PTAR efectuado por Newhart y otros (2019), se obtuvo que el uso de big data es uno de los mejores sistemas para mejorar los procesos de control de uso de energía y al mismo tiempo garantizar calidad del agua del efluente y evitar cualquier tipo de daños. Lo que dio como resultado la reducción de costos y mejoras en la operación desde el inicio en el rendimiento de la planta. Además, el beneficio se dio en porcentaje a más del 50% para cumplir con uno de los objetivos de la planta que era mejorar el rendimiento inicial de la misma.

Dentro del análisis de rendimiento de las bombas y optimización de eficiencia energética en la PTAR ejecutado por Torregrossa y otros (2017), definió que la disponibilidad de sensores dentro de la línea ayudó a comprender de mejor forma el funcionamiento del sistema. Que dio como resultado una mejoría de tomas de decisiones. Donde aumentó la gestión en procesos de evaluación del sistema de bombeo. Para lo cual evitó la carencia de información dentro de todo el proceso sea casi nula. En donde se generó una reducción del 18.5% en consumo energético y dando un soporte de respaldo para el análisis del rendimiento.

En el estudio realizado por Arana Contreras & Mancero Escobar (2022) sobre la evaluación de la remoción de coliformes fecales en una planta de tratamiento, se determinó que dos procesos aplicados, el uso de pastillas de cloro y el uso de ácido peracético, son eficaces para la desinfección. Sin embargo, se observó que el proceso de pastillas de cloro logró una remoción de coliformes fecales del 99,91%, mientras que el proceso de ácido peracético alcanzó una remoción ligeramente inferior, con un 99,82%. Por lo tanto, se concluyó que el proceso de desinfección con pastillas de cloro resultó ser más aplicable y efectivo, según los resultados obtenidos en el estudio.

En muchas plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), se generan múltiples variables y datos de operación (rendimiento) que están interrelacionados, lo que dificulta la evaluación de tendencias generales y la cuantificación del desempeño de estas plantas. En este sentido, se llevó a cabo un análisis multivariante tanto cualitativo como cuantitativo de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales.

En el estudio realizado por Ebrahimi y otros (2017), se utilizó el análisis de componentes principales (PCA) para analizar la interdependencia y el rendimiento del proceso de las variables. Este análisis se dividió en cinco componentes principales, derivados de 15 variables, que representaron el 75,25% de la información total del conjunto de datos. Se observó una carga significativa de materia orgánica y nutrientes en los parámetros de DBO y PT (fósforo total), obteniendo precisiones que oscilaron entre el 71% y el 97%.

Por otro lado, Bhave y otros (2020) evaluaron la eficiencia de una PTAR que utiliza el método de tratamiento biológico con un biorreactor de materia rotatoria (RMBR, por sus siglas en inglés). Esta planta de tratamiento recibía un promedio de seis mdl (mecanismos de desarrollo limpio, según el protocolo de Kioto) de aguas residuales. Se recolectaron muestras en varias etapas y se analizaron parámetros de calidad del efluente, como DBO, DQO y SST. Durante un período de 17 semanas, se evaluaron los aspectos del rendimiento y se demostró que la planta cumplía en general con los estándares de diseño y emisión de aguas residuales establecidos por las autoridades. Además, un estudio con seis unidades de RMBR en un ciclo de 13 semanas mostró reducciones en los parámetros de DBO y DQO en el tratamiento de aguas residuales.

Castellet & Molinos Senante (2016) evaluaron la eficiencia de una PTAR con la finalidad de cotejar su desempeño junto a esto precisar las mejores prácticas operativas que beneficiaran a la reducción de costos operativos. Para la evaluación de las PTAR se han utilizado modelos tradicionales para el análisis envolvente de datos (DEA). En su gran parte estos estudios consideran como entrada a los costos operativos de las PTAR, en cambio se trata como salidas a los contaminantes descargados de las AR (aguas residuales). Pero ignoran el hecho que la eliminación de cada contaminante por una planta de tratamiento de aguas residuales genera un efecto diferente en el medio ambiente, ocasionando una limitación. Se utilizó un modelo de medición ponderado basado en la relajación que permitió evaluar el rendimiento de las pruebas de WWTP (wastewater treatment plant), siendo un modelo DEA no radial que ponderó entradas y salidas según su importancia, dio como resultado un gran potencial de ahorro en condiciones de personal y energía.

Gardner y otros (2013) examinaron el rendimiento de 16 plantas de tratamiento de aguas residuales con el fin de proporcionar una visión general en la eliminación de sustancias rastreables que son esenciales para el logro de los objetivos en la DMA (directiva del marco de agua/WFD). Se recolectó y analizó más de 2.400 pruebas entre entradas de aguas residuales, muestra de procesos en diversas etapas de proceso de tratamiento y aguas residuales finales. Se brindó datos sobre el avance en procesos de tratamiento de aguas residuales existente, que permitió estimar la necesidad de perfeccionar la calidad de las aguas residuales. Se enumeró 55

sustancias que dio como resultado metales, productos farmacéuticos y productos químicos industriales, incluyó datos sobre parámetros de salud, que generó una amplia gama de eficacia de eliminación. Dicha eliminación no se relacionó significativamente con los procesos comunes, lo que sugiere que otros factores operativos suelen ser importantes, además muchas sustancias tóxicas tienen altas tasas de eliminación, más aún las propuestas actuales de la calidad del agua son más estrictas significa que requiere mejoras adicionales en la calidad del efluente.

En la indagación realizada por Molinos Senante y otros (2016), se llevó a cabo una investigación con el objetivo de mejorar el rendimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) a largo plazo y promover su sostenibilidad. Se evaluó la eficiencia económica-tecnológica considerando las emisiones generadas por los procesos de las PTAR.

Para realizar la evaluación, se utilizó el modelo ponderado de Russell, que se basa en la distancia direccional. Se estimó la eficiencia ecológica de 30 muestras tomadas de distintas PTAR. Se encontraron deficiencias en variables relacionadas con factores de coste, emisiones de gases de efecto invernadero y remoción de contaminantes. Los resultados revelaron que aproximadamente la mitad de las instalaciones tenían un margen considerable para mejorar su eficiencia ecológica. Es importante mencionar que las PTAR evaluadas utilizaban un tratamiento secundario convencional para la eliminación de sólidos suspendidos y material orgánico.

Se encontró que el 47% de las 14 PTAR eficientes lograron mantener un equilibrio adecuado entre el mantenimiento, la eliminación de contaminantes y la reducción de gases de efecto invernadero. Sin embargo, estas instalaciones generaron un 32% más de gastos en costes de explotación y mantenimiento en comparación con las 16 PTAR ineficientes, que representaron el 53% restante. Estos hallazgos resaltan la importancia de mejorar la eficiencia en las PTAR, tanto en términos económicos como ambientales, para lograr un rendimiento óptimo y sostenible en el tratamiento de las aguas residuales.

Muszyński Huhajło y otros (2018) indican que, al agregar químicos a la parte mecánica, como la sedimentación primaria asistida químicamente en la clarificación primaria, hizo posible la mejora de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales y

pudo resolver los problemas de operación de la planta. La adición de coagulantes económicos como las sales de hierro (sal férrica), pudo mejorar la coagulación y la floculación, seguido de precipitaciones químicas para mejorar la eliminación de contaminantes solubles y sólidos en suspensión. Además, la materia orgánica adicional en los lodos primarios permite una mayor producción de gas durante la digestión anaerobia y aumentó la producción de energía en las plantas de cogeneración. Se realizó experimentos con diferentes coagulantes, evaluando así el balance costo-energía para la implementación en una gran planta de tratamiento de aguas residuales en Polonia. La cantidad correcta de coagulantes y polímeros tiene un impacto significativo en el costo total.

Mediante la investigación ejecutada por Struk Sokolowska y otros (2020) se evidencio que los diferentes tipos de compuestos orgánicos en aguas residuales provienen de los procesos de precipitación primaria asistida químicamente, así como su posible impacto en la economía y energía de la planta. Se sacó el modelo estadístico de redes neuronales artificiales (ANN), donde se examinó estas relaciones incluyendo el efecto de diferentes coagulantes y polielectrolitos. En dos grandes plantas de tratamiento de aguas residuales en Europa central, se encontró que solo la adición del cloruro férrico tuvo un impacto positivo. La adición de polielectrolitos no afectó el proceso en una de las plantas, pero mejoró su efecto en la otra. Solo las dosis específicas de cloruro férrico (10-40) fueron rentables en ambas plantas. Los resultados destacan la importancia de considerar la presencia de polielectrolitos y su relación con los componentes de DQO coloidales en las aguas residuales. Los buenos modelos de ANN desarrollados demostraron la eficacia de la eliminación de DQO en ambas plantas.

Collaguazo Morocho & Espin Ledesm (2022) llevaron a cabo la implementación de una planta piloto de un humedal artificial de flujo horizontal para tratar el agua residual de una vivienda habitada por 5 personas del sector San José. Para lo cual se tomó muestras del agua antes y después del proceso de tratamiento para realizar ensayos de laboratorios y se compararon los resultados de los parámetros considerados en el estudio. Donde se obtuvo altos porcentajes de remoción para el DBO, DQO, SST y coliformes fecales. Los resultados obtenidos cumplieron con los

límites establecidos por el TULSMA para la descarga de agua dulce al sistema de alcantarillado públicos. Se determinó que el costo total del estudio fue de \$957,65.

Se demostró a través del análisis de Moreira Veliz & Macías Choez (2018) que, el uso de un humedal artificial de flujo vertical fue eficiente en la reducción de la concentración de DBO en las aguas residuales provenientes de baños, lavadoras y fregaderos. Se encontró que las concentraciones de DBO obtenidos en el efluente del humedal se encontraban dentro de los límites de descargas permitidos son cuerpos de agua dulce. A pesar de que el área del humedal existente era menor en comparación con las áreas necesarias calculadas del caudal teórico se logró una eficiencia de reducción en la concentración de DBO superior al 80%. La configuración de la tubería de entrada operó de una manera más satisfactoria a un calado de 70 cm. Además, el humedal artificial resultó ser una opción de tratamiento aguas residuales domésticas más económicas que las plantas o tratamientos tradicionales por m<sup>2</sup> y se determinó que un mayor calado implica un menor tiempo de retención hidráulica y menor dimensionamiento de diseño.

A partir de un análisis de rendimiento en la planta de tratamiento de aguas residuales en el sector Cállate del cantón Pillaro llevado a cabo por Morales Fiallos & Altamirano Nuñez (2023), se demostró que esta necesitaba un plan de mantenimiento, no solo de sus unidades sino también de sus componentes, es decir un manual de operación y mantenimiento, debido a que los valores obtenidos sobre los parámetros DQO y DBO cumplían con los límites establecidos por la norma. Esto se realizó a través de recolección de datos, estudios de campo, observaciones en visitas técnicas a la planta, estudios de laboratorio sobre la calidad del agua; lo que además permitió conocer que los porcentajes del rendimiento inicial de la planta, a pesar de no ser óptimos se encontraban dentro de los valores teóricos calculados en el estudio.

El presente estudio Chen & Yang (2021) examinaron el consumo de energía en las plantas de tratamiento de aguas residuales en China. Utilizando una técnica llamada análisis envolvente de datos, se evaluó la eficiencia energética de estas plantas. Se consideraron diferentes factores como la carga de trabajo, el consumo energía y el volumen de tratamiento, así como la remoción de contaminantes. En total se analizaron 4100 plantas en 2018 y se encontraron que sólo 14 de ellas eran eficientes en términos de consumo eléctrico. Durante el período de estudio se

observaron mejoras del 40.54% en la productividad y del 71.24% en la eficiencia técnica siendo un porcentaje considerable de las plantas evaluadas. Además, el estudio demostró que en las zonas occidentales de China presentaban niveles más altos de eficiencia energética, debido al mayor uso de fuentes de energía renovable, sin embargo, las áreas centrales y orientales mostraban menor eficiencia y mayores emisiones de contaminantes.

La finalidad del estudio Hamdy y otros (2019) fue analizar los beneficios de Añadir un tratamiento terciario y/o digestión anaerobia de lodos a las plantas convencionales de tratamientos de aguas residuales en países de desarrollo. Se estudiaron cuatro escenarios diferentes mediante la evaluación del ciclo de vida para una planta de tratamiento de aguas residuales en Egipto. La adición de la digestión anaerobia del lodo y la etapa de tratamiento terciario logró los mayores beneficios ambientales y financieros debido al valor del agua producida que puede ser reutilizada. Cabe destacar la importancia de considerar la evaluación del ciclo de vida en el desarrollo de las plantas de tratamiento de aguas residuales en países en desarrollo.

Singh y otros (2019) en su investigación evaluaron el rendimiento de ocho plantas por medio de un sistema descentralizado de tratamientos residuales (DEWATS, por sus siglas en inglés) en Marshall, India, para tratar aguas residuales. Aunque algunas plantas fueron menos eficientes que lo esperado, todas cumplieron los estándares de descarga establecidos. Se calculó detalladamente en una de las plantas considerando aspectos técnicos y socios económicos. Además, se realizó el análisis de contaminación del ciclo de vida para evaluar los impactos ambientales de la operación de DEWATS, identificando las principales fuentes de un cuerpo de agua en la disposición de lodos. Se concluyó que puede ser una opción viable para el tratamiento residuales, ya que requiere un consumo mínimo energía y productos químicos.

Wang y otros (2018) evaluaron seis procesos de tratamiento terciarios de coagulación filtración que demostró una eliminación eficiente del fósforo total y suspendidos totales en Kunming, China. El consumo del Cloruro de polialuminio (PAC) varió entre los procesos, y se encontró que una dosis cercana al calor óptimo ayudó a reducir los costos económicos y a mejorar la eliminación de TP y SST.

Además, se demostró que el proceso de coagulación/filtración ayuda a reducir la eutrofización. La evaluación integral incluyó aspectos técnicos, económicos y ambientales y se encontró que el proceso de microfloculación con filtración tipo D/medios de tela tuvo el mejor rendimiento integral, con el filtro tipo D ofreciendo un gran potencial para la reducción química y ahorro energía.

Arzate y otros (2019) en su estudio investigaron los procesos de oxidación avanzada como la ozonización y el proceso foto-Fenton solar para mejorar la recuperación de aguas residuales. Se comparó estos dos procesos de tratamiento terciario utilizando la evaluación del ciclo de vida para medir los impactos ambientales. Los resultados fueron idóneos ya que ambos procesos reducen el estrés hídrico local, pero la oxidación tiene un mejor desempeño ambiental en general debido a su menor consumo de reactivos. Además, la ozonización puede funcionar de forma continua sin almacenamiento adicional, mientras que el proceso foto-Fenton solar requiere ajustes de pH ácido y tiene impactos relacionados con el consumo de ácido y liberación del  $\text{CO}_2$ .

Un estudio de Krishnan y otros (2021) se demostró que debido a sus efectos metabólicos los productos de cuidado personal y productos farmacéuticos (PPCP) en concentraciones pequeñas son una categoría emergente de contaminantes. Estos contaminantes están presentes en los suministros de agua y plantas de tratamientos de aguas residuales debido a su uso generalizado y eliminación inadecuada. Los PPCP parcialmente oxidados introducidos en las plantas de tratamiento interrumpen los procesos biológicos y las plantas tradicionales no son eficaces para eliminarlos. Se demostró que los métodos de oxidación avanzada, como la radiación ionizante, son efectivos para la eliminación de PPCP.

El estudio analizado por Taboada Santos y otros (2020) comparó dos enfoques, el tratamiento primario mejorado químicamente (CEPT) y el lodo activado de alta tasa (HRAS), en términos de eficiencia energética, costos operativos, eliminación de microcontaminantes orgánicos (OMP) y eliminación de virus en plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR). Se realizó pruebas en una planta piloto de CEPT y un reactor HRAS a escala de laboratorio. Se obtuvo una dosis de cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) en CEPT para alcanzar una alta eficiencia en la eliminación de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y se desarrolló una eficiencia comparable en HRAS al agregar  $\text{FeCl}_3$  en el

clarificador. En términos de eficiencia energética, CEPT consumió menos energía, pero tuvo costos operativos más altos que HRAS. El HRAS mostró una mayor eficiencia en la eliminación OMP y una eficiencia inferior en la eliminación de virus en comparación con CEPT.

### **2.3. Marco Legal**

La investigación llevará a cabo un riguroso cumplimiento de todas las normativas y regulaciones establecidas por las autoridades ambientales y sanitarias. Se analizarán en detalle las regulaciones vigentes relacionadas con el tratamiento de aguas residuales, considerando tanto las normativas nacionales como internacionales. Específicamente, se prestará especial atención a los estándares de calidad del agua y los límites permitidos para los parámetros de DQO y DBO soluble y particulado en el efluente tratado.

La aplicación del marco legal y normativo será un aspecto esencial en la investigación, ya que garantizará la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos. El cumplimiento de las regulaciones ambientales y sanitarias asegurará que la evaluación del rendimiento inicial de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Esclusas sea coherente con los estándares y criterios establecidos por las autoridades competentes.

Además, el análisis de la conformidad con las normativas vigentes será fundamental para evaluar la eficiencia y viabilidad de los procesos de tratamiento implementados. Si los resultados obtenidos cumplen con los estándares establecidos, se podrá afirmar que la Planta de Tratamiento está operando de manera adecuada y que su desempeño es acorde a los requerimientos ambientales y de salud pública.

En caso de que se identifiquen desviaciones o incumplimientos con respecto a las normativas, se podrán proponer ajustes y mejoras necesarias en los procesos de tratamiento para garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales y sanitarias. De esta manera, la investigación asegurará que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Esclusas esté operando en conformidad con la ley y que contribuya activamente a la protección del medio ambiente y la salud de la población.

En la siguiente sección se expondrán las leyes, normativas y ordenanzas vigentes ordenadas según la pirámide de Kelsen, relacionadas directa o indirectamente al proyecto, permitiendo respaldar legalmente la información presentada.

El Ecuador cuenta con una extensa variedad de leyes teniendo a la CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, seguido de la LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA, LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL, CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE, AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL AGUA(ARCA), TULSMA, DECLARACIÓN DE RÍO DE 1992. Dónde están las autoridades estatales responsables de moderar la descarga de aguas residuales, van desde los departamentos de gestión ambiental provinciales y municipales. Hasta la máxima autoridad ambiental del país el ministerio del ambiente.

### **2.3.1. Constitución de la Republica**

Para llevar a cabo esta investigación, se consideró la Constitución de la República del Ecuador (2008) como un instrumento legal fundamental. En particular, se han tomado en cuenta los siguientes artículos que son relevantes para el tema en cuestión: [Art. 12 – 32 – 73 – 276#4 – 395#1y#3 – 411 - 412]. Estos artículos proporcionan el marco legal y normativo en el cual se desarrolla la investigación, estableciendo los derechos, responsabilidades y principios fundamentales relacionados con el ámbito específico del estudio. Al hacer referencia a estos artículos constitucionales, se busca asegurar que el trabajo de investigación se realice en concordancia con las disposiciones legales establecidas en la Constitución, garantizando así la validez y el cumplimiento de las normas jurídicas vigentes.

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

Art. 32.- La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos el derecho al agua, la alimentación, la educación, la cultura física, el

trabajo, la seguridad social, los ambientes sanos y otros que sustentan el buen vivir.

Art. 73.- El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional.

Art. 276 # 4.- Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio nacional.

Art. 395 # 1.- El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

Art. 395 # 3.- El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales. (Constitución del Ecuador, 2008)

Art. 396.- Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente.

Art. 397 # 2.- Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.

Art. 397 # 3.- Regular la producción, importación, distribución, uso y disposición final de materiales tóxicos y peligrosos para las personas o el ambiente.

Art. 411.- El estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

### **2.3.2. Ley Orgánica De Recursos Hídricos Uso Y Aprovechamiento Del Agua**

Consecuentemente, dentro de esta investigación se ha tomado en consideración la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua (2018), que es un instrumento legal clave en el ámbito de la gestión y regulación del agua. En particular, se han analizado y considerado los siguientes artículos relevantes para el estudio. Estos artículos establecen las disposiciones legales y reglamentarias relacionadas con la gestión, el uso y el aprovechamiento del agua en el contexto nacional. Al hacer referencia a estos artículos de la Ley de Recursos Hídricos, se busca garantizar que la investigación se desarrolle de acuerdo con las normas y regulaciones establecidas en dicha ley, contribuyendo así a la adecuada gestión y protección de los recursos hídricos en el país.

Art. 11.- Se consideran obras o infraestructuras hidráulicas las destinadas a la captación, extracción, almacenamiento, regulación, conducción, control y aprovechamiento de las aguas, así como al saneamiento, depuración, tratamiento y reutilización de las aguas aprovechadas... colectores de aguas pluviales y residuales, instalaciones de saneamiento, depuración y tratamiento... Las obras o infraestructura hidráulica podrán ser de titularidad pública, privada o

comunitaria, según quien las haya construido y financiado, aunque su uso es de interés público.

Art. 18.- Establecer mecanismo de coordinación y complementariedad con los Gobiernos Autónomos Descentralizados en lo referente a la prestación de servicios públicos de riego y drenaje, agua potable, alcantarillado, saneamiento, depuración de aguas residuales y otros que establezca la ley.

Art. 21.- La Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), es un organismo de derecho público, de carácter técnico-administrativo, adscrito a la Autoridad Única del Agua... Ejercerá la regulación y control de la gestión integral e integrada de los recursos hídricos, de la cantidad y calidad de agua en sus fuentes y zonas de recarga, calidad de los servicios públicos relacionados al sector agua y en todos los usos, aprovechamientos y destinos del agua.

Art. 23 lit. d.- Coordinar con la Autoridad Ambiental Nacional la regulación y control la calidad y cantidad del agua en el dominio hídrico público, así como las condiciones de toda actividad que afecte estas cualidades.

Art. 23 lit. e.- Coordinar con la Autoridad Ambiental Nacional las acciones de control correspondientes, a fin de que los vertidos cumplan con las normas y parámetros emitidos.

Art. 23 lit. f.- Normar los destinos, usos y aprovechamientos del agua y control de aplicación.

Art. 23 lit. g.- Regular para estandarizar y optimizar sistemas relacionados a los servicios públicos vinculados al agua. (Ley Orgánica De Recursos Hídricos Usos Y Aprovechamiento Del Agua, 2014)

Art. 23 lit. i.- Controlar el cumplimiento de las obligaciones contempladas en las autorizaciones de uso y aprovechamiento del agua.

Art. 36 lit. b.- Regular los usos, el aprovechamiento del agua y las acciones para preservarla en cantidad y calidad mediante un manejo sustentable a partir de normas técnicas y parámetros de calidad.

Art. 37.- La provisión del agua potable comprende los procesos de captación y tratamiento de agua cruda, almacenaje y transporte, conducción, impulsión, distribución, consumo, recaudación de costos, operación y mantenimiento.

Art.37 # 1.- Alcantarillado sanitario: recolección y conducción, tratamiento y disposición final de aguas residuales y derivados del proceso de depuración.

Art. 79 lit. c.- Controlar y prevenir la acumulación en suelo y subsuelo de sustancias tóxicas, desechos, vertidos y otros elementos capaces de contaminar las aguas superficiales o subterráneas

Art.79 lit. d.- Controlar las actividades que puedan causar la degradación del agua y de los ecosistemas acuáticos y terrestres con ella relacionados y cuando estén degradados disponer su restauración. (Ley Orgánica De Recursos Hídricos Usos Y Aprovechamiento Del Agua, 2014)

Art. 79 lit. e.- Prohibir, prevenir, controlar y sancionar la contaminación de las aguas mediante vertidos o deposición de desechos sólidos, líquidos y gaseosos; compuestos orgánicos, inorgánicos o cualquier otra sustancia tóxica que alteren la calidad del agua o afecten la salud humana, la fauna, flora y el equilibrio de la vida.

Art. 80.- Se considera como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público... Es responsabilidad de los gobiernos autónomos municipales el tratamiento de las aguas

servidas y desechos sólidos, para evitar la contaminación de las aguas de conformidad con la ley.

Art. 81.- La autorización para realizar descargas estará incluida en los permisos ambientales que se emitan para el efecto. Los parámetros de la calidad del agua por ser vertida y el procedimiento para el otorgamiento, suspensión y revisión de la autorización, serán regulados por la Autoridad Ambiental Nacional o acreditada, en coordinación con la Autoridad única del Agua.

### **2.3.3. Agencia De Regulación Y Control Del Agua (ARCA)**

Seguido, se ha hecho referencia a los artículos pertinentes de la Agencia de Regulación y Control del Agua (2018). Esta agencia desempeña un papel fundamental en la regulación y control de los recursos hídricos en el país. En el marco de esta investigación, se han considerado los siguientes artículos específicos [Art 1 – 10 - 19]. Estos artículos establecen las normativas y disposiciones específicas relacionadas con el uso, la gestión y el control del agua, así como las responsabilidades y competencias de la Agencia de Regulación y Control del Agua en la supervisión y regulación de estos aspectos. Al tomar en cuenta estos artículos, se busca asegurar que el estudio se realice en cumplimiento con las regulaciones establecidas por la agencia, contribuyendo así a la adecuada gestión y control del agua en el país.

Art. 1.- Regular los parámetros e indicadores para la evaluación y diagnóstico de la gestión y la infraestructura de los sistemas de agua potable y/o saneamiento, para la prestación de estos servicios públicos en el territorio nacional.

Art. 10.- Son los datos y los valores obtenidos en función de la información relativa a la gestión del prestador e infraestructura de los sistemas de agua potable y/o saneamiento dentro de la prestación de los servicios públicos agua potable y/o saneamiento que serán utilizados para caracterizar evaluar la cantidad medir la gestión de la prestación de los servicios brindados por los prestadores públicos y comunitarios. Los

parámetros para la evaluación y diagnóstico se establecerán mediante Resolución de la Dirección Ejecutiva de la ARCA.

Art. 19.- Los diferentes niveles de desempeño de los indicadores respectivos, se determinarán a partir de los rangos establecidos por la ARCA, los cuáles serán emitidos mediante Resolución de Dirección Ejecutiva de la ARCA. Estos rangos se denominarán de la siguiente forma: Rango I: nivel alto desempeño; Rango II: nivel medio desempeño; Rango III nivel bajo de desempeño.

### 2.3.3.1. RESOLUCION NRO ARCA-DE-007-2018 (ARCA)

De la Resolución NRO ARCA-DE-007-2018 (2023) se obtuvo la siguiente tabla del artículo 12:

**Tabla 16 Niveles de desempeño de infraestructura**

Simbolo	Indicadores	Rango I	Rango II	Rango III
ESC	Estado del sistema de captación	Bueno	Regular	Malo
ESCC	Estado del sistema de conducción	Bueno	Regular	Malo
EST	Estado del sistema de tratamiento de agua cruda	Bueno	Regular	Malo
ESD	Estado del sistema de distribución	Bueno	Regular	Malo
ESA	Estado del sistema de almacenamiento	Bueno	Regular	Malo
ESAR	Estado del sistema de tratamiento de aguas residuales	Bueno	Regular	Malo
CM	Cumplimiento en el mantenimiento y operación de los sistemas	Bueno	Regular	Malo

Fuente: ARCA (2018)

### 2.3.4. Ley Recursos Hídricos Usos Y Aprovechamiento Del Agua

Como siguiente punto dentro de nuestro marco legal se tomó en consideración el Reglamento Ley Recursos Hídricos Usos Y Aprovechamiento Del Agua (2015) donde se recalcaron los artículos a continuación:

Art. 45 lit. a- Formular un plan para ser ejecutado coordinadamente en relación con varios cantones y conseguir así la mejor economía de escala posible para la prestación de los servicios públicos especialmente se podrá realizar esta actuación en relación al tratamiento de aguas residuales.

Art. 46 lit. a.- Coordinar con otro u otros cantones y conseguir una mejor economía para la prestación del servicio público. Especialmente, se podrá realizar esta actuación en relación al tratamiento de aguas residuales.

Art. 46 lit. b.- Desarrollar temporalmente la competencia de provisión de los servicios de agua potable, alcantarillado o tratamiento de aguas residuales por sí misma o en asociación con una empresa mixta, de la economía popular y solidaria o del sector privado.

Art. 76 lit. a.- Destino de las aguas a consumo humano, riego para la soberanía alimentaria, actividades productivas, así como evacuación de las aguas sobrantes o residuales.

Art. 89.- Se podrán otorgar autorizaciones por el uso o aprovechamiento productivo de aguas residuales tratadas, siempre y cuando éstas cumplan los parámetros de calidad establecidos por la ARCA con las entidades con competencia en el ámbito de tratamiento de aguas residuales en función del uso a que se pretendan destinar. En ningún caso se podrán destinar las aguas residuales para consumo humano.

### ***2.3.5. Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente (TULSMA)***

Como punto final dentro de nuestro marco legal, nos basamos en la pirámide de Kelsen y tomamos en consideración el "Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente" (2015). En este documento se incluyen tablas relevantes que son de suma importancia para nuestro análisis. Estas tablas proporcionan datos y referencias clave que respaldan y respaldan nuestras argumentaciones. Al consultar el "Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente" (2015),

hemos podido acceder a información precisa y actualizada sobre las regulaciones y normativas vigentes en materia ambiental. Estas tablas nos brindan una visión completa y detallada de los aspectos legales que afectan nuestra investigación y nos permiten evaluar su relevancia en nuestro contexto específico. Es fundamental utilizar esta información para asegurarnos de que nuestras conclusiones y recomendaciones estén respaldadas por una base legal sólida y confiable.

**Tabla 17 Límites de descarga a un alcantarillado**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Limite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivas o inflamables	Sustancia	mg/l	cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	1,0
Cinc	ZN	mg/l	10,0
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio total	Hg	mg/l	0,01
Niquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrogeno total Kje dahi	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	mg/l	20,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1600,0
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C	mg/l	<40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

**Nota:** Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente  
**Fuente:** Ministerio Del Ambiente (2015)

**Tabla 18 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,00
Boro Total	B	mg/l	2,00
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro activo	Cl	mg/l	
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real <sup>1</sup>	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,00
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	1000
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ±3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

<sup>1</sup> La apariencia del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

**Nota:** Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente  
**Fuente:** Ministerio Del Ambiente (2015)

**Tabla 19 Límites de descarga a un cuerpo de agua marina**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
			(A) Descargas En Zona De Rompientes	(B) Descargas Mediante Emisarios Submarinos
Aceites y Grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0	30,0
Arsénico total	As	mg/l	0,5	0,5
Aluminio	Al	mg/l	5,0	5,0
Cianuro total	CN	mg/l	0,2	0,2
Cinc	Zn	mg/l	10,0	10,0
Cobre	Cu	mg/l	1,0	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000	2000
Color	Color verdadero	unidades de color	*Inapreciable en dilución: 1/20	*Inapreciable en dilución: 1/20
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5	0,5
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	200,0	200,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	400,0	400,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0	20,0
Material Flotante	Visibles		Ausencia	Ausencia
Mercurio Total	Hg	mg/l	0,01	0,01
Nitrógeno Total Kjeldahi	N	mg/l	40,0	40,0
Potencial de hidrógeno	pH		6-9	6-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	250,0	250,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5	0,5
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	ug/l	50,0	50,0
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	ug/l	100,0	100,0
Carbamatos	Especies totales	mg/l	0,25	0,25
Temperatura	°C		<35	<35
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5

\*La apreciación del color se estima sobre 10 cm de diluida

**Nota:** Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente

**Fuente:** Ministerio Del Ambiente (2015)

## **CAPÍTULO III**

### **Marco Metodológico**

#### **3.1. Enfoque de la Investigación**

El diseño metodológico de esta investigación se basa en un enfoque cuantitativo que involucra la recolección de muestras de agua en la entrada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Las Esclusas, así como la evaluación de indicadores clave como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y el rendimiento del tratamiento en la planta para su posterior observación.

Las muestras obtenidas se someterán a un análisis minucioso, siguiendo los factores y criterios establecidos en la normativa vigente para su evaluación. Se utilizará la técnica de prueba de jarra, ampliamente utilizada en el análisis de aguas residuales, para llevar a obtener las dosificaciones correctas dentro de los parámetros del funcionamiento de la PTAR.

El objetivo principal de este diseño metodológico es obtener datos precisos y confiables sobre la calidad del agua de la planta. Estos resultados serán fundamentales para evaluar la eficacia del tratamiento y determinar si se cumplen los estándares establecidos por la normativa ambiental, considerando así datos fiables para futuras construcciones o estudios.

La combinación de la recolección de muestras y el análisis de laboratorio desempeña un papel crucial en la evaluación de la calidad del agua y el rendimiento del tratamiento en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Este enfoque integral permite obtener información cuantitativa y precisa sobre los parámetros relevantes para la calidad del agua, como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), entre otros. Además, este enfoque brinda la oportunidad de monitorear el desempeño a lo largo del tiempo, permitiendo la detección temprana de posibles problemas y la implementación de acciones preventivas. Esto contribuye a mantener un tratamiento eficiente y sostenible, asegurando la protección del medio ambiente y la salud pública.

En resumen, la combinación de la recolección de muestras y el análisis de laboratorio nos proporciona una herramienta valiosa para evaluar la calidad del agua

y el rendimiento del tratamiento en la PTAR. Este enfoque ayuda a identificar áreas de mejora, tomar medidas correctivas y garantizar un tratamiento eficaz y confiable.

### **3.1.1. Análisis de los Objetivos de la Investigación**

El objetivo general de esta investigación es evaluar el rendimiento inicial de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Esclusas, mediante un análisis de calidad del agua servida para la obtención de los parámetros DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) soluble y particulado. Este objetivo busca determinar la eficiencia del tratamiento y la remoción de contaminantes presentes en el agua residual antes de su descarga al medio ambiente.

Para alcanzar el objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

Como punto de partida se define la dosificación más adecuada de cloruro férrico y su ayudante de coagulación. Esta etapa es crucial para optimizar el proceso de tratamiento de aguas residuales. Se realizarán pruebas con diferentes dosificaciones de cloruro férrico, así como la adición del polímero catiónico ULTRA FLOC - 566, para determinar la combinación más efectiva que permita una remoción óptima de contaminantes.

Seguido de ello se determina los rendimientos iniciales de remoción de los parámetros DBO soluble y particulado, y DQO soluble y particulado. A través de análisis químicos en condiciones controladas de laboratorio, se cuantificará la cantidad de contaminantes removidos en cada dosificación y combinación de coagulantes y floculantes. Esta información será esencial para conocer la eficacia del proceso de tratamiento.

Para finalizar se compara los resultados obtenidos en los estudios realizados con los valores estándares establecidos. Los resultados de las pruebas de jarras se compararán con los límites y criterios de calidad establecidos por las normativas ambientales. Esto permitirá evaluar si los niveles de remoción alcanzados cumplen con los estándares requeridos para el adecuado tratamiento de aguas residuales.

La implementación de estos objetivos específicos contribuirá a la optimización del proceso de tratamiento en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Esclusas, asegurando una remoción efectiva de los contaminantes presentes en el agua residual y cumpliendo con los estándares ambientales establecidos. Los resultados obtenidos serán fundamentales para tomar decisiones y ajustar el proceso de tratamiento, garantizando así una gestión sostenible y responsable del agua en la ciudad de Guayaquil.

### **3.2. Alcance de la Investigación:**

Considerando que el alcance descriptivo se centra en la descripción de aspectos fundamentales o en la exploración de las etapas, el presente estudio tiene como finalidad identificar y caracterizar las propiedades de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) "Las Esclusas" a través de la evaluación de sus principales parámetros, en este caso, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Además, se realizará una investigación inicial sobre el rendimiento de la PTAR como punto de partida de esta investigación. Con el fin de evaluar el desempeño de la PTAR en estudio, se llevarán a cabo pruebas experimentales con tres diferentes dosificaciones, las cuales proporcionarán datos cuantitativos a través de sus resultados.

Estos datos serán analizados para medir la eficiencia y el cumplimiento de los estándares establecidos en el funcionamiento de la planta. Para ello, se realizará una evaluación exhaustiva de la PTAR utilizando técnicas y metodologías apropiadas que garanticen la obtención de resultados precisos y confiables.

La recopilación de datos permitirá determinar la capacidad de tratamiento de la planta, así como identificar posibles deficiencias o áreas de mejora. Además, el análisis de rendimiento permitirá comparar los resultados obtenidos con los límites de descarga establecidos en la normativa vigente (Edición Especial No. 387 - Registro Oficial. No. 097-A, Refórmese el Texto Unificado de la Legislación Secundaria. Tabla 9 – Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce. Ministerio del Ambiente, 4 de noviembre de 2015.), lo que proporcionará información valiosa para optimizar los procesos y tomar decisiones tanto en la planta en estudio como en futuros proyectos

de construcción. El cumplimiento de la normativa ambiental es fundamental para asegurar que la planta de tratamiento de aguas residuales opere de manera sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

### **3.2.1. Sector Ambiental**

El cumplimiento de las normativas ambientales es fundamental para asegurar que el tratamiento de aguas residuales se realice de manera responsable y sostenible. Estas regulaciones establecen límites máximos de concentración para diversos parámetros, como DQO, DBO, sólidos suspendidos, y otros contaminantes, garantizando que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad establecidos antes de su descarga al medio ambiente.

Además, el sector ambiental promueve el uso de tecnologías y procesos de tratamiento que minimicen el impacto ambiental. La aplicación de coagulantes y floculantes, como parte de un proceso global de tratamiento, permite una remoción más efectiva de contaminantes y evita la liberación de sustancias nocivas en el agua residual tratada. De esta manera, se asegura que el agua liberada no tenga un efecto negativo en los ecosistemas acuáticos receptores.

La implementación de políticas ambientales y la aplicación de tecnologías adecuadas no solo benefician al medio ambiente, sino también a la salud y bienestar de la población. El agua tratada adecuadamente puede utilizarse para diversos fines, como riego agrícola, uso industrial y recreativo, sin poner en riesgo la salud de las personas que la utilizan.

En resumen, el sector ambiental desempeña un papel fundamental en la regulación y gestión del tratamiento de aguas residuales, estableciendo normativas y estándares que garantizan la calidad del agua y la protección de los ecosistemas acuáticos. La aplicación de coagulantes y floculantes como parte de un proceso de tratamiento eficiente es una práctica esencial para cumplir con estas regulaciones y asegurar un uso responsable y sostenible del recurso hídrico.

### **3.2.2. Sector Humano**

Además de los beneficios para la salud humana, el tratamiento adecuado de aguas residuales también tiene un impacto positivo en el medio ambiente. Las aguas

residuales sin tratar pueden contener una gran cantidad de contaminantes que afectan los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad. La aplicación de coagulantes y floculantes en el proceso de tratamiento ayuda a remover estos contaminantes, reduciendo el riesgo de daños a los ecosistemas acuáticos y preservando la vida marina.

En términos económicos, el tratamiento de aguas residuales puede tener beneficios significativos para las comunidades y las industrias. El agua limpia y segura es fundamental para el desarrollo económico, ya que se utiliza en diversas actividades, como la agricultura, la industria manufacturera y el turismo. La aplicación de coagulantes y floculantes en el proceso de tratamiento puede mejorar la eficiencia y la calidad del agua, lo que a su vez contribuye al crecimiento económico y la sostenibilidad.

En conclusión, el tratamiento adecuado de aguas residuales mediante la aplicación de coagulantes y floculantes es esencial para garantizar la salud y bienestar de la población, proteger el medio ambiente y promover el desarrollo económico. Es importante que las autoridades ambientales, las comunidades y las industrias trabajen juntos para implementar prácticas de tratamiento eficientes y sostenibles que aseguren un uso responsable y seguro del recurso hídrico. La inversión en tecnologías y procesos de tratamiento adecuados será clave para enfrentar los desafíos actuales y futuros en la gestión de aguas residuales y promover un futuro más saludable y sostenible para todos.

### **3.2.3. Sector Social**

El tratamiento adecuado de aguas residuales tiene un impacto positivo en la equidad social y la justicia ambiental. En muchas ocasiones, las comunidades más vulnerables son las más afectadas por la falta de tratamiento de aguas residuales, lo que conlleva a una mayor exposición a enfermedades y una disminución de la calidad de vida. La aplicación de coagulantes y floculantes en el proceso de tratamiento puede contribuir a reducir estas disparidades y garantizar que todas las comunidades tengan acceso a agua limpia y segura.

Por otro lado, el tratamiento eficiente de aguas residuales también puede contribuir a la creación de empleo y el desarrollo económico local. La implementación

de plantas de tratamiento y la operación de los procesos de coagulación y floculación generan oportunidades laborales en el ámbito de la gestión y conservación del agua. Además, el tratamiento adecuado puede atraer inversiones y fomentar el desarrollo de industrias sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

La aplicación de coagulantes y floculantes en el tratamiento de aguas residuales también puede ser un factor clave en la adaptación al cambio climático. El aumento de las temperaturas y la variabilidad climática pueden afectar la calidad y disponibilidad del agua, por lo que es fundamental contar con tecnologías de tratamiento que sean resilientes y capaces de enfrentar estos desafíos.

Es así que, el tratamiento de aguas residuales mediante la aplicación de coagulantes y floculantes no solo contribuye a la mejora de la calidad del agua y la protección del medio ambiente, sino que también tiene un impacto positivo en el bienestar social, el desarrollo económico y la justicia ambiental. Es esencial seguir promoviendo la implementación de tecnologías de tratamiento eficientes y sostenibles que beneficien a todas las comunidades y contribuyan a un futuro más próspero y equitativo para todos.

#### **3.2.4. Sector Económico**

El uso de coagulantes y floculantes en el tratamiento de aguas residuales puede tener un impacto positivo en la eficiencia del proceso, lo que a su vez puede resultar en ahorros económicos significativos. Al eliminar los contaminantes presentes en el agua residual de manera más efectiva, se reducen los costos asociados con el tratamiento posterior y la prevención de la contaminación en cuerpos de agua receptores.

Además, un adecuado tratamiento de aguas residuales puede mejorar la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos, lo que tiene beneficios económicos indirectos para diversas industrias. Por ejemplo, una mejor calidad del agua puede aumentar la productividad y rentabilidad en actividades agrícolas y pesqueras al garantizar que los recursos hídricos utilizados sean aptos para su uso y no afecten negativamente a los cultivos y la vida acuática.

Asimismo, el tratamiento adecuado de aguas residuales puede ser un factor determinante para el desarrollo turístico sostenible. La disponibilidad de agua limpia y segura es un atractivo para los turistas y contribuye al desarrollo de actividades turísticas relacionadas con el agua, como el turismo de playa, deportes acuáticos y actividades recreativas. En este sentido, un adecuado tratamiento de aguas residuales es esencial para garantizar la competitividad y el crecimiento del sector turístico.

Por otro lado, las inversiones en infraestructuras y tecnologías de tratamiento de aguas residuales pueden generar oportunidades económicas locales, al crear empleo en la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento. Asimismo, el desarrollo y uso de tecnologías de tratamiento innovadoras pueden abrir nuevos mercados y oportunidades comerciales para las empresas y proveedores de estos sistemas.

Por todo lo antes mencionado, el tratamiento de aguas residuales mediante la aplicación de coagulantes y floculantes no solo tiene beneficios ambientales y sociales, sino que también puede tener un impacto positivo en la economía local y regional. La reducción de los costos asociados a la contaminación y la promoción de un desarrollo económico sostenible son aspectos clave para asegurar un futuro próspero y equitativo para las comunidades y las industrias que dependen del recurso hídrico.

### **3.3. Técnica e Instrumentos para Obtener los Datos**

La metodología empleada para la evaluación del rendimiento inicial de la planta de tratamiento de aguas residuales Las Esclusas involucra la utilización de diversos ensayos de laboratorio y técnicas instrumentales. En este estudio, se han establecido tres dosificaciones distintas de cloruro férrico y polímero catiónico con el objetivo de evaluar su efectividad en la remoción de contaminantes.

Para comenzar, se llevará a cabo la prueba de jarras, donde se prepararán muestras representativas de agua residual y, se agregarán las diferentes dosificaciones previamente establecidas de cloruro férrico y polímero catiónico. Mediante la agitación y sedimentación en las jarras, se evaluará visualmente la

formación de flóculos y la claridad del agua tratada. Este ensayo permitirá determinar la eficiencia de cada dosificación en la remoción de sólidos suspendidos y turbidez.

Además, se realizará la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) soluble y particulada. Estos análisis se llevarán a cabo utilizando técnicas instrumentales específicas. Para la DBO soluble y particulada, se seguirá el método estándar que implica la incubación de muestras de agua bajo condiciones controladas, seguida de la medición del oxígeno consumido durante la degradación de la materia orgánica. Por otro lado, para la DQO soluble y particulada, se empleará un procedimiento de oxidación química seguido de la valoración correspondiente. Estas determinaciones permitirán evaluar la carga orgánica presente en el agua residual y la efectividad de las diferentes dosificaciones en su remoción.

En resumen, la metodología para la evaluación del rendimiento inicial de la planta de tratamiento de aguas residuales Las Esclusas incluye la prueba de jarras, así como la determinación de la DBO y la DQO soluble y particulada. Se han establecido tres dosificaciones distintas de cloruro férrico y polímero catiónico con el propósito de evaluar su eficacia en la remoción de contaminantes. Los resultados obtenidos de estos ensayos y análisis permitirán determinar la dosificación más efectiva en términos de remoción de sólidos, carga orgánica y calidad del agua tratada en la planta de tratamiento.

### ***3.3.0. Pasos para la Toma de Muestra y Realización de las Pruebas***

Antes de llevar a cabo el proceso de toma de muestras en la planta de tratamiento de aguas residuales Las Esclusas, se llevó a cabo una comunicación formal mediante una carta dirigida al gerente de EMAPAG, solicitando el acceso necesario a la planta. Esta solicitud fue respondida en días posteriores, proporcionando indicaciones sobre los implementos requeridos para el acceso y una capacitación previa sobre el manejo de la planta, facilitada por el Ing. Miguel Baquerizo, como se puede observar en la ilustración 10 adjunta.

**Ilustración 16 Inducción acerca de la PTAR Las Esclusas**



**Elaborado por:** Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

Posteriormente, bajo la dirección del Ing. Damián Zurita, fuimos guiados hacia la cámara de ingreso de la planta para llevar a cabo la toma de muestras. Antes de realizar este proceso, recibimos instrucciones detalladas sobre el uso de los implementos de seguridad y el manejo de los tratamientos dentro de la planta. Se nos proporcionó información sobre el uso de maquinarias, el manejo de coagulantes y otros aspectos relevantes, tal como se muestra en la ilustración 11 adjunta.

**Ilustración 17 Inducción de seguridad para tomar las muestras**



**Elaborado por:** Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

Durante el proceso de toma de muestras en la planta de tratamiento de aguas residuales Las Esclusas, se siguieron estrictamente los procedimientos establecidos para garantizar la representatividad y calidad de las muestras. Se seleccionaron puntos estratégicos dentro del sistema de tratamiento, como la cámara de ingreso, para capturar muestras que reflejaran adecuadamente las características del agua residual en diferentes etapas del proceso.

Para llevar a cabo la toma de muestras, se utilizaron instrumentos y equipos apropiados, tales como botellas de muestreo estériles y adecuados sistemas de muestreo para evitar la contaminación cruzada. Se siguieron protocolos específicos para cada tipo de muestra, considerando parámetros como el caudal, la temperatura y el tiempo de muestreo, con el fin de obtener resultados precisos y confiables.

Es importante destacar que se adoptaron medidas de seguridad para proteger al personal y garantizar el cumplimiento de las normas de salud ocupacional. Se utilizaron equipos de protección personal, como guantes, gafas de seguridad y vestimenta adecuada, para minimizar los riesgos asociados a la manipulación de las muestras y el acceso a las instalaciones de tratamiento.

**Ilustración 18 Toma de muestras realizada por Pedro Macías**



**Elaborado por:** Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**Ilustración 19 Toma de muestras realizada por Diana Mazzini**

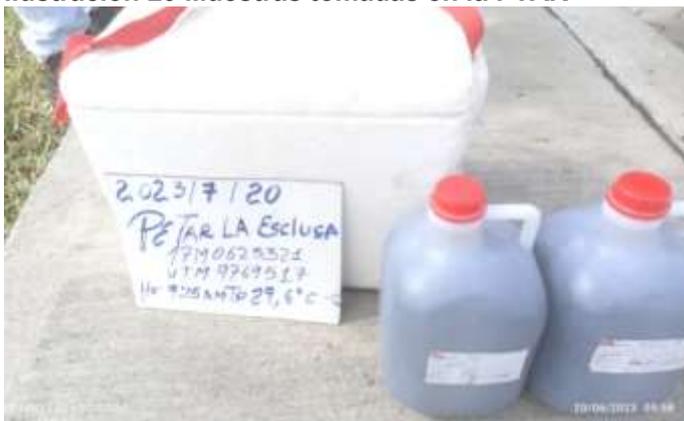


**Elaborado por:** Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

Una vez recolectadas las muestras, se procedió a su adecuado etiquetado y almacenamiento, asegurando su trazabilidad y preservación de las características originales hasta su entrega al laboratorio. El transporte de las muestras se realizó siguiendo las normas establecidas para evitar su deterioro o contaminación durante el traslado.

La toma de muestras en la planta de tratamiento de aguas residuales Las Esclusas es un paso crucial en la evaluación del rendimiento de la planta y en la determinación de la calidad del agua tratada. Los resultados obtenidos a partir de estas muestras proporcionarán información valiosa para tomar decisiones informadas y llevar a cabo mejoras en el proceso de tratamiento, con el objetivo de cumplir con los estándares de calidad ambiental y garantizar el bienestar de la comunidad.

**Ilustración 20 Muestras tomadas en la PTAR**



**Elaborado por:** Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

Después de la recepción de las muestras en el laboratorio, se llevaron a cabo una serie de pruebas de jarra y análisis de DQO y DBO soluble y particulado. Estas pruebas se realizaron utilizando tres dosificaciones diferentes de cloruro férrico como coagulante principal, con dos variaciones de concentración.

En primer lugar, se realizaron las pruebas de jarra utilizando las tres dosificaciones de cloruro férrico. Estas pruebas permitieron evaluar la capacidad de coagulación y floculación del cloruro férrico en la remoción de partículas suspendidas y materia orgánica presentes en el agua residual.

Posteriormente, se realizaron los análisis de DQO y DBO soluble y particulado en las muestras tratadas con las diferentes dosificaciones de cloruro férrico. Estos análisis proporcionaron información sobre la cantidad de contaminantes presentes en el agua residual y la eficiencia de remoción lograda con cada dosificación.

Con base en los resultados obtenidos, se seleccionó la dosificación que mostró los mejores resultados en términos de remoción de contaminantes. Esta dosificación se utilizó como base para realizar una tercera prueba, en la cual se añadió un polímero catiónico como ayudante de coagulación. Esta prueba adicional permitió evaluar si la adición del polímero mejoraba aún más la eficiencia de remoción de contaminantes en comparación con la dosificación seleccionada previamente.

Todos los resultados obtenidos en las pruebas de jarra y análisis de DQO y DBO soluble y particulado se compararán con los límites establecidos en la normativa ambiental vigente, específicamente en la TULSMA (Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental). De esta manera, se determinará si el rendimiento de la planta de tratamiento cumple con los estándares legales y se podrá identificar la mejor opción en términos de remoción de contaminantes.

Este análisis comparativo será de gran utilidad para evaluar la efectividad del tratamiento en la planta Las Esclusas y tomar decisiones informadas sobre posibles mejoras o ajustes en el proceso de tratamiento de aguas residuales, garantizando el cumplimiento de los estándares ambientales y la protección del medio ambiente.

### **3.3.1. Prueba de Jarras**

La prueba de jarras, también conocida como ensayo de coagulación-floculación, es una técnica utilizada en las plantas de tratamiento de aguas para evaluar y optimizar el proceso de coagulación y floculación. Este ensayo es especialmente importante en el tratamiento de aguas residuales, ya que permite determinar la dosis óptima de coagulante y evaluar la eficiencia de la floculación en la remoción de partículas y sustancias presentes en las muestras de agua residual.

En nuestro estudio, se realizarán pruebas de jarras con el objetivo de determinar la dosis óptima de coagulante y evaluar la eficiencia de la floculación en la remoción de partículas y sustancias presentes en las muestras de agua residual. Para ello, se someterán las muestras a diferentes dosis de coagulante y polímero catiónico, siguiendo un proceso de mezcla y floculación en jarras de laboratorio.

Durante la prueba, se observará el proceso de formación de floculados y sedimentación de las partículas suspendidas en el agua tratada. Además, se medirá la turbidez y se analizarán otras características del agua en cada dosis de coagulante, con el fin de determinar la dosis más eficiente que proporcione una clarificación óptima y cumpla con los estándares de calidad establecidos.

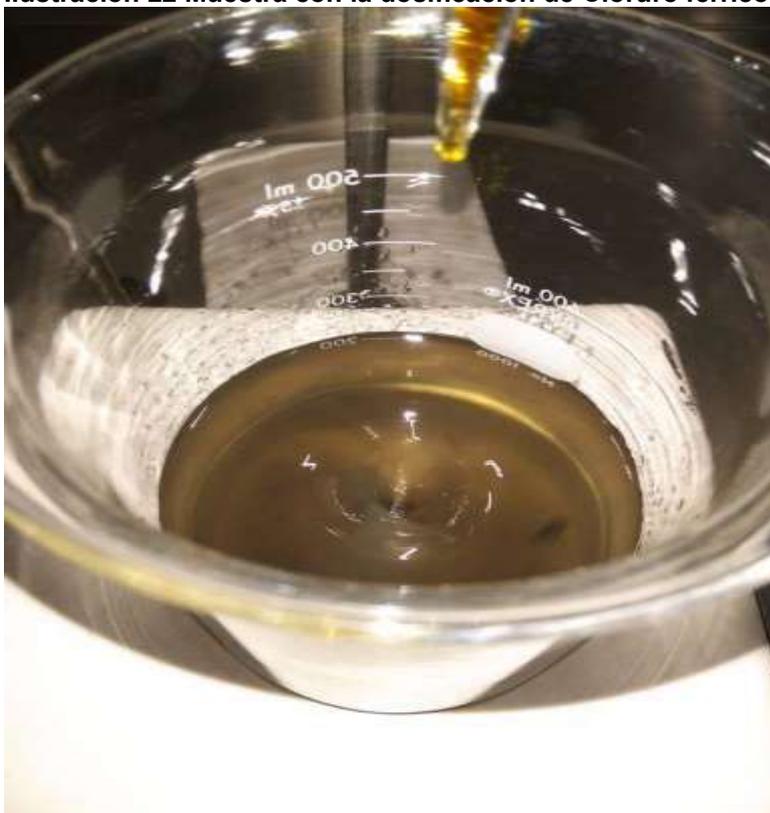
La información obtenida de la prueba de jarras será de gran relevancia para ajustar los parámetros de coagulación y floculación en la planta de tratamiento de aguas residuales. Esto incluirá la determinación de la dosis de coagulante más adecuada, así como el tiempo de mezcla y floculación requerido. Estos ajustes permitirán mejorar la eficiencia del proceso de tratamiento y garantizar la eliminación efectiva de partículas y sustancias no deseadas en el agua residual, contribuyendo así a obtener un efluente de alta calidad y proteger el medio ambiente.

**Ilustración 21 Polímero catiónico**



**Elaborado por:** Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**Ilustración 22 Muestra con la dosificación de Cloruro férrico**



**Elaborado por:** Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**Ilustración 23 Muestra con Cloruro y Polímero**



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

### **3.3.1.1. Especificaciones Técnicas de los Ayudantes de Coagulación y Floculación**

**3.1.1.1.1. Cloruro Férrico.** Las especificaciones técnicas del cloruro férrico pueden variar dependiendo del fabricante y la aplicación específica para la cual se utiliza. Sin embargo, a continuación, se presentan las especificaciones para el cloruro férrico que se han usado en la presente investigación utilizado en el tratamiento de aguas residuales:

**Tabla 20 Especificaciones técnicas del cloruro férrico**

Componente	Especificación	Unidad
Cloruro férrico (Cl <sub>3</sub> Fe)	30-32 %	m/m
Cloruro ferroso (Cl <sub>2</sub> Fe)	<0.92	m/m
Acidez (ClH)	< 1.0	m/m
Insolubles	< 0.5	m/m
Densidad (20°C)	1.20 - 1.40	g/cm <sup>3</sup>

**Nota: La especificación de cloruro ferroso es equivalente a < 2.5 de hierro total**

Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

### **3.1.1.1.2. Polímero Catiónico**

#### **Descripción General:**

El polímero catiónico de ultra alto peso molecular es un derivado de la acrilamida con alta carga catiónica. Este producto es ampliamente utilizado en procesos de deshidratación y espesamiento de lodos, así como en tratamientos de aguas residuales como floculante en clarificación, especialmente cuando el floc formado está expuesto a rompimientos considerables.

#### **Propiedades Fisicoquímicas:**

Carácter Iónico: Alta Catiónica

Apariencia: Sólido granular

pH (Solución al 0.5%):  $3.5 \pm 1.0$

Solubilidad en agua: Máximo 1.0%

#### **Manejo y Aplicación:**

Este polímero tiene una vida útil de 2 años en su envase original si se mantiene en condiciones secas. Para su uso, se diluye en soluciones del 0.05% al 0.1%. La preparación de la solución se logra mediante la adición del producto granular al agua con agitación uniforme. Después de aproximadamente 60 minutos de preparación a temperatura ambiente, la solución debe reposar durante 30 minutos antes de su aplicación. Se recomienda almacenar el producto en lugares frescos y mantener el saco bien cerrado cuando no está en uso.

#### **Precauciones:**

Es importante manejar este producto con prendas de protección adecuadas. En caso de contacto con los ojos, es necesario lavar abundantemente con agua y buscar atención médica. No se debe tener contacto prolongado con el producto, y las prendas contaminadas deben ser lavadas antes de reutilizarlas. No se debe ingerir el producto. Al mezclarse con agua o humedad, puede formar un residuo resbaloso.

### **Presentación:**

El polímero catiónico se distribuye en sacos de 25 Kg.

#### **3.3.2. Dosificaciones Establecidas para el Ensayo**

En una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), el cloruro férrico se utiliza comúnmente como coagulante para ayudar en la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica. La concentración de cloruro férrico y de polímero catiónico puede variar dependiendo de los requerimientos específicos de tratamiento y las condiciones del agua a tratar.

El cloruro férrico generalmente se encuentra en forma líquida y su concentración se expresa como un porcentaje en peso. Por ejemplo, una concentración del 25% significa que hay 25 gramos de cloruro férrico por cada 100 gramos de solución.

La dosificación de cloruro férrico puede variar dependiendo de varios factores, como la calidad del agua de entrada, la carga de contaminantes, el tipo de proceso de tratamiento utilizado y los requisitos de calidad del efluente final. Por lo general, se determina a través de pruebas de laboratorio y pruebas piloto para optimizar la eficiencia de remoción de contaminantes.

Tanto una concentración del 25% como del 30% son comunes en el uso de cloruro férrico en PTAR, es por ello que se ha elegido estas 2 concentraciones para realizar las pruebas en la presente investigación. En general, una concentración del 25% se considera adecuada para muchas aplicaciones de tratamiento de aguas residuales, ya que proporciona una cantidad suficiente de cloruro férrico para la coagulación y floculación de los contaminantes presentes.

Una concentración del 30% puede ser utilizada cuando se requiere una dosis más alta de cloruro férrico para tratar aguas residuales con una mayor carga de contaminantes o para condiciones de tratamiento específicas que requieren una mayor eficiencia de remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica.

Por otro lado, se realizó otra prueba con una concentración de cloruro férrico del 25% junto a un ayudante de coagulación, el polímero catiónico, con una

concentración del 1%. El polímero catiónico es un tipo de polímero que contiene cargas positivas y se utiliza en la PTAR para mejorar la eficiencia de la coagulación y floculación de los contaminantes presentes en el agua residual.

Además, una concentración del 1% de polímero catiónico en una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) significa que se tiene una solución que contiene 1 gramo de polímero catiónico por cada 100 gramos de solución.

Es importante tener en cuenta que el manejo de productos químicos, incluido el cloruro férrico, en una PTAR debe realizarse siguiendo las normativas y regulaciones locales y cumpliendo con los requisitos de seguridad establecidos. El uso adecuado y seguro de estos productos químicos es fundamental para garantizar la eficiencia del proceso de tratamiento y proteger la salud y el medio ambiente.

**Ilustración 24 Muestra del 25% de  $Cl_3Fe$**



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**Ilustración 25 Muestra del 25%;30% de  $Cl_3Fe$**



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

### **3.3.3. Determinación de DQO Soluble y Particulado**

**3.3.3.1 Método de Referencia.** Para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) soluble y particulada, se pueden emplear diferentes métodos, dos de los cuales son el Método HACH 8000 y el método descrito en la 23ª edición de los Standard Methods (Métodos Estándar), específicamente el método 5220 D.

El Método HACH 8000 es un procedimiento utilizado para la medición de la DQO en muestras acuosas. Este método se basa en la oxidación química de la materia orgánica presente en la muestra, utilizando un agente oxidante fuerte. Luego, se realiza una valoración de la cantidad de oxígeno consumido durante la oxidación, lo cual permite determinar la DQO soluble y la DQO particulada.

El Método de las Diluciones es un procedimiento bioquímico que mide la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos presentes en la muestra para degradar la materia orgánica biodegradable. Este método implica diluir la muestra en una serie de diluciones conocidas y medir la disminución del oxígeno disuelto durante un período de incubación de 5 días. Los resultados se expresan en miligramos de oxígeno consumidos por litro de muestra (mg/L).

Por otro lado, los Standard Methods proporcionan una guía completa para la realización de análisis de agua y aguas residuales. En su 23ª edición, el método 5220 D describe el procedimiento para la determinación de la DQO. Este método también se basa en la oxidación química de la materia orgánica presente en la muestra y la posterior medición del oxígeno consumido. Permite distinguir entre la DQO soluble y la DQO particulada, brindando información detallada sobre la composición de la carga orgánica en la muestra.

Ambos métodos son ampliamente utilizados y reconocidos en el campo del análisis de agua potable y aguas residuales. La elección entre ellos dependerá de los recursos disponibles, la normativa aplicable y las necesidades específicas del análisis de DQO soluble y particulada. Es importante seguir las instrucciones y los procedimientos establecidos en cada método para garantizar resultados precisos y confiables.

**Ilustración 26 Inicio de la prueba de determinación de DQO**



**Elaborado por:** Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**Ilustración 27 Proceso de las pruebas**



**Elaborado por:** Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**Ilustración 28 Adición del floculante a la muestra**



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**Ilustración 29 Adición del coagulante a la muestra 2**



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**3.3.3.2. Interferencias.** Los compuestos orgánicos volátiles (COV) se someten a una completa oxidación en el sistema de reflujo cerrado, lo cual se logra gracias a un mayor contacto con el oxidante. Antes de utilizar este sistema, es fundamental inspeccionar que las tapas de los tubos o cubetas reactivas no estén rotas, y verificar que el liner TPF de la tapa esté en perfecto estado.

Es importante evitar o compensar las interferencias que puedan ser absorbidas en el rango de luz visible. Estas interferencias pueden incluir materia suspendida insoluble, así como componentes coloreados.

Cuando se trata de los cloruros, es relevante tener en cuenta su capacidad para oxidar los iones dicromato. Además, se forma complejos con los cloruros cuando se agrega  $\text{HgSO}_4$  durante el proceso de digestión.

### **3.3.3.3. Definiciones Generales.**

**% RPD:** Porcentaje de Diferencia Relativa de duplicados

**DQO:** El DQO es la demanda química de oxígeno que se reporta como  $\text{mg O}_2/\text{L}$ .

**3.3.3.4. Principio del Método.** En este ensayo, se realiza la oxidación de una muestra de agua utilizando una solución sulfúrica caliente de dicromato potásico y sulfato de plata como catalizador. Los cloruros presentes en la muestra son enmascarados mediante la adición de sulfato de mercurio. Luego, se determina fotométricamente la concentración de iones  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  no consumidos.

Para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se utiliza un agente químico fuertemente oxidante en un medio ácido. Este agente permite determinar la cantidad de oxígeno equivalente presente en la materia orgánica que puede ser oxidada. El Dicromato de potasio es especialmente eficaz para este propósito, proporcionando resultados excelentes. Es importante realizar el ensayo a altas temperaturas.

Con el fin de facilitar la oxidación de ciertos tipos de compuestos orgánicos, se emplea un catalizador como el sulfato de plata. Esto se debe a que algunos compuestos orgánicos pueden interferir en el desarrollo normal del ensayo. Por lo

tanto, es necesario tomar medidas adecuadas para eliminar dichas interferencias antes de realizar el ensayo.

**3.3.3.5. Medidas de Seguridad.** Es fundamental mantener los equipos siempre protegidos del polvo y alejados de fuentes de agua para garantizar su correcto funcionamiento y evitar daños. Asimismo, se recomienda utilizar mandil, gafas protectoras y guantes como medidas de seguridad personal.

El uso del mandil proporciona una barrera física adicional para proteger la ropa y el cuerpo de posibles salpicaduras, derrames o contaminación. Las gafas protectoras son indispensables para resguardar los ojos de cualquier partícula o sustancia que pueda causar lesiones o irritaciones. Además, el uso de guantes ofrece una protección adicional a las manos, evitando el contacto directo con productos químicos o sustancias peligrosas.

Estas medidas de seguridad son cruciales para prevenir accidentes, minimizar riesgos y mantener un ambiente de trabajo seguro en todo momento.

### **3.3.3.6. Equipos y Materiales.**

#### **3.3.3.6.1. Equipos**

Tabla 21 Descripción de los equipos usados en la determinación del DQO

<b>Nombre del equipo</b>	<b>Código del equipo</b>
Medidor portátil(potenciómetro)	EQ-01
Balanza analítica	EQ-02
Termoreactor	EQ-04
Colorímetro	EQ-05
Estufa	EQ-29

Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

#### **3.3.3.6.2. Materiales**

- Tubos para digestión (viales) de boro silicato con reactivo, 10x100mm con tapones de rosca.
- Pipetas volumétricas de 2, 5 10 ml clase A.

- Gradilla.
- Matraz de 100ml
- Tirillas de pH. O potenciómetro EQ-01-00
- Bulbo pipeteador
- Piceta para agua destilada
- Botellas plásticas para muestras de 500ml

### **3.3.3.7. Reactivos**

- Kit de viales con reactivos HACH en rango de 3 – 150mg/L
- Kit de viales con reactivos HACH en rango de 20 – 1500 mg/L.
- Solución de ácido sulfúrico al 20%
- Solución Standard de Phthalato Hidrogenado de Potasio (KHP) de 500 mg/L.
- Solución Standard de Phthalato Hidrogenado de Potasio (KHP) de 30 mg/L
- Solución Standard de Phthalato Hidrogenado de Potasio (KHP) de 800 mg/L
- Ácido sulfúrico concentrado 95-97%

**3.3.3.7.1. Preparación de la Solución Estándar.** Para la preparación estándar de la solución cabe mencionar que el equipo no requiere la creación de curvas de calibración, debido a que se trabaja con la curva entera o proporcionada por el fabricante, donde nuestro procedimiento consiste en la verificación de la curva de calibración utilizando estándares específicos.

Solución Standard de Phthalato Hidrogenado de Potasio (KHP), se debe secar el compuesto (Phthalato de potasio) a 110 °C hasta que logre alcanzar un peso

constante. Luego se disuelven 425mg de (KHP) en agua destilada y se diluyen a 1000mL. Esta solución tiene teóricamente una concentración de DQO de 500mg/L. De esta solución madre podemos preparar otra solución de concentración más baja como 30mg/l.

Para preparar la solución de 30 mg/L, se colocan 6 ml de la solución madre de 500 mg/L, a su vez se lo coloca en un matraz aforado de 100 ml, y luego se completa hasta el enrase con agua destilada. Esta solución es estable cuando esta refrigerada pero no indefinidamente (hasta 3 meses) y siempre que tenga ausencia de crecimiento biológico visible. Todos los detalles sobre la preparación de las soluciones se registrarán en la hoja de trabajo F PG03-03

Además, se requiere una solución Standard de Phthalato Hidrogenado de Potasio (KHP) de 800 mg/L. Para preparar esta solución se añaden 0.6808 g de Phthalato Hidrogenado de Potasio secado a 103 °C a 1 lt de agua destilada. Se utiliza 2 mL de esta solución como volumen de muestra. El resultado esperado para esta solución debe ser un valor de DQO de  $800 \pm 26$  mg/L.

**3.3.3.8. Preparación de los Equipos.** Para el correcto funcionamiento del ensayo, se requiere el uso de dos equipos específicos: el Thermoreactor EQ-04 y el Colorímetro EQ-05.

En primer lugar, para el Thermoreactor EQ-04, se debe encender el equipo con una antelación de diez minutos antes de comenzar el ensayo. Esto permitirá que alcance la temperatura adecuada y esté listo para su uso. Para mayor precisión, se recomienda seguir detalladamente las instrucciones establecidas en el IE 1.7, que proporciona las pautas específicas para el encendido y el precalentamiento del Thermoreactor.

En cuanto al Colorímetro EQ-05, es necesario encender el equipo con una antelación de 15 minutos antes de su utilización. Este tiempo adicional permitirá que el colorímetro se estabilice y asegure mediciones precisas durante el ensayo. Para garantizar un manejo adecuado del colorímetro, es esencial seguir rigurosamente las instrucciones establecidas en el IE 1.6, que brinda directrices detalladas sobre su encendido y su utilización.

Siguiendo estos protocolos de encendido y las instrucciones proporcionadas en los documentos IE 1.7 e IE 1.6, respectivamente, se asegurará un adecuado funcionamiento y rendimiento de los equipos Termoreactor EQ-04 y Colorímetro EQ-05 durante el ensayo.

**3.3.3.9. Procedimiento del Ensayo.** Durante cada corrida del análisis en el Termoreactor, es esencial incluir varios elementos para asegurar una evaluación precisa. Esto implica la colocación de un blanco, un estándar de concentración conocida, un duplicado y las muestras dentro del Termoreactor. Cada uno de estos elementos debe ser tratado de acuerdo al rango de trabajo establecido para las muestras.

Para homogeneizar adecuadamente la muestra, se utiliza una pipeta volumétrica para pipetear 2 ml de la muestra, los controles de calidad y el estándar, los cuales se colocan en las cubetas que contienen el reactivo específico para el análisis dentro del rango requerido (3-150mg/L o 20-1500mg/L). Luego, se agita el tubo por balanceo o mediante una agitación automática para mezclar los componentes. Posteriormente, se seca el vial con papel o tela libre de pelusas y se coloca en el Termoreactor para su análisis a una temperatura de 150°C durante 120 minutos.

Es importante tener en cuenta que, durante las etapas siguientes, se debe manipular la cubeta únicamente por la tapa de rosca debido a su reacción exotérmica.

Una vez finalizado el proceso de calentamiento, las cubetas calientes se retiran del Termoreactor y se colocan en un portacubetas para que se enfríen. Después de 5 minutos, se agita la cubeta por balanceo para enfriarla a temperatura ambiente y se vuelve a colocar en el portacubetas. El tiempo mínimo de enfriamiento debe ser de 30 minutos.

Luego, se colocan los viales en el equipo EQ-05 para su lectura. Se comienza con el blanco para calibrar el equipo y luego se procede a leer los estándares y las muestras de acuerdo con las instrucciones establecidas en el instructivo IE-1.6.

Es importante tener en cuenta algunas notas relacionadas con la medición. Las cubetas deben estar limpias y libres de sustancias y ralladuras, y si es necesario, se

deben limpiar con un paño seco y limpio. Además, se debe tener en cuenta que la formación de turbidez después de finalizada la reacción, producto de muestras con sedimentos significativos o altos niveles de cloruros, puede resultar en lecturas falsas. Para obtener mediciones estables, se recomienda dejar el vial durante un tiempo prolongado antes de realizar la lectura.

**3.3.3.9.1. Determinación de 0-1500 mg/L (Alto Rango).** A continuación, se detallan los pasos a seguir para el uso del programa de demanda de oxígeno químico en el instrumento:

1. Ingrese el número de programa almacenado para la demanda de oxígeno químico de rango alto. Utilice la tecla "PRGM" en la pantalla para ingresar el número del programa. La pantalla mostrará "PRGM" para confirmar.

2. Presione la tecla "17 ENTER" para seleccionar el programa correspondiente. La pantalla mostrará la unidad de medida en mg/L, la demanda química de oxígeno (DQO) y el icono de cero. Si se requiere la forma alternativa (O<sub>2</sub>), presione la tecla "CONC".

3. Inserte el adaptador COD/TNT en el soporte de la celda, girándolo hasta que encaje en su lugar. Asegúrese de empujar hacia abajo para insertarlo completamente.

4. Limpie el exterior del blanco utilizando una toalla. Es importante eliminar huellas dactilares u otras marcas. Se recomienda limpiar con una toalla húmeda seguida de una seca.

5. Coloque el blanco en el adaptador, asegurándose de que encaje correctamente.

6. Presione hacia abajo en la parte superior del vial de muestra hasta que se asiente firmemente en el adaptador. Evite mover el vial de un lado a otro, ya que esto puede causar errores en los resultados.

7. Cubra la cubeta de muestra completamente con la tapa del instrumento. Asegúrese de que esté bien sellada. El blanco se mantiene estable cuando se almacena en la oscuridad.

8. Presione la tecla "ZERO". El cursor se desplazará hacia la derecha y la pantalla mostrará "0 mg/L COD", indicando que se ha realizado la calibración de cero.

9. Limpie el exterior del vial de muestra con una toalla. Coloque la muestra en el adaptador y presione hacia abajo en la parte superior del vial hasta que se asiente firmemente en el adaptador. Evite mover el vial de un lado a otro.

10. Cubra la cubeta de muestra completamente con la tapa del instrumento.

11. Presione la tecla "READ". El cursor se desplazará hacia la derecha y se mostrará el resultado en mg/L DQO, correspondiente a la demanda química de oxígeno de la muestra.

**3.3.3.10. Unidad de los resultados.** Es importante destacar que el equipo utilizado para este análisis es de lectura directa, lo que significa que proporciona los resultados directamente en unidades de mg/L. Esta función facilita la interpretación y registro de los resultados sin necesidad de realizar cálculos adicionales. Los valores obtenidos representan la concentración de la sustancia medida en miligramos por litro de muestra. Esta lectura directa agiliza el proceso de obtención de datos y asegura una mayor precisión en la evaluación de los niveles de interés en el análisis de las muestras.

### **3.3.4. Determinación de DBO Soluble y Particulado**

**3.3.4.1 Método de Referencia.** Para llevar a cabo el análisis de las muestras de agua, se seguirán los métodos establecidos en el libro "Standard Methods, 23rd edition 2017". Específicamente, se utilizará el Método de las Diluciones (5210B) para determinar la concentración de organismos coliformes en las muestras. Además, se empleará el Método de Electrodo (4500-OG) para medir el oxígeno disuelto en las muestras.

Adicionalmente, se tomará en consideración la Norma Nacional de Calidad Ambiental y Descarga de Agua, en su libro VI y anexo 1. Esta norma proporciona los estándares y requisitos legales para la calidad del agua en el ámbito ambiental y de descarga. Se utilizarán los criterios y límites establecidos en esta norma como referencia para evaluar los resultados obtenidos en el análisis de las muestras de agua.

Al seguir estas referencias y utilizar los métodos de análisis recomendados, se garantiza la aplicación de procedimientos estandarizados y reconocidos en la evaluación de la calidad del agua en concordancia con las normativas y estándares vigentes. Esto asegura la confiabilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos en el estudio de las muestras de agua.

**3.3.4.2. Interferencias.** Es importante tener en cuenta que los resultados obtenidos en el análisis de las muestras pueden estar influenciados por la presencia de diversas sustancias. Por ejemplo, valores extremos de pH pueden afectar la actividad de los microorganismos y la oxidación bioquímica de la materia orgánica. Además, la presencia de sustancias tóxicas como bactericidas, metales tóxicos o cloro libre puede inhibir la actividad microbiana y alterar los resultados.

Asimismo, la presencia de algas o microorganismos nitrificantes en las muestras puede dar lugar a valores elevados en los análisis. Para mitigar este efecto, el método contempla el uso de inhibidores de nitrificación y el pretratamiento de las muestras antes del análisis. Estas medidas ayudan a evitar la interferencia de microorganismos no deseados y garantizan una mayor precisión en los resultados obtenidos.

Por tanto, es crucial tener en cuenta estos factores y tomar las medidas adecuadas durante el proceso de análisis, como el uso de inhibidores y el pretratamiento de las muestras, para asegurar una evaluación precisa de la calidad del agua y minimizar posibles interferencias que puedan afectar los resultados.

#### **3.3.4.3. Definiciones Generales.**

**DBO:** La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un bioensayo utilizado para medir la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos en sus procesos metabólicos para degradar la materia orgánica presente en una muestra. Este parámetro es una medida indirecta de la contaminación orgánica y se utiliza para evaluar la calidad del agua.

**OD:** El oxígeno disuelto (OD) es una medida directa del nivel de oxígeno presente en una muestra de agua. El OD es importante ya que indica la cantidad de

oxígeno disponible para los organismos acuáticos y es un factor crucial para mantener la vida en los ecosistemas acuáticos.

**Nitrificación:** En el proceso de nitrificación, las bacterias presentes en los fluidos residuales descomponen la materia orgánica e inorgánica consumiendo el nitrógeno presente en ellas. Un ejemplo de este proceso es la conversión del amoníaco a nitrito y nitrato por las bacterias nitrificantes.

**Blancos:** Los blancos son muestras utilizadas para indicar la ausencia de contaminación o fuentes de error en el ensayo de DBO. Se utilizan para determinar la cantidad correcta de microorganismos (semilla) para la inoculación de las muestras y para realizar correcciones en los cálculos de los resultados. Es importante que los blancos cumplan con los criterios de aceptación para garantizar la validez de los resultados.

**Estándares:** Los blancos son muestras utilizadas para indicar la ausencia de contaminación o fuentes de error en el ensayo de DBO. Se utilizan para determinar la cantidad correcta de microorganismos (semilla) para la inoculación de las muestras y para realizar correcciones en los cálculos de los resultados. Es importante que los blancos cumplan con los criterios de aceptación para garantizar la validez de los resultados.

Al tener en cuenta estos aspectos y realizar los análisis correspondientes, se garantiza una evaluación precisa de la calidad del agua mediante la medición de DBO, OD y considerando los blancos y estándares como controles de calidad para asegurar la fiabilidad de los resultados obtenidos.

**3.3.3.4. Principio del Método.** La prueba de DBO<sub>5</sub> se basa en un procedimiento experimental conocido como bioensayo, que permite medir la cantidad de oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica biodegradable presente en aguas residuales o naturales. Este ensayo se realiza bajo condiciones estándar, que incluyen la incubación en la oscuridad a una temperatura de 20°C durante un período de cinco días.

Para realizar la prueba de DBO, se toma una muestra de agua y se la somete a condiciones controladas de temperatura y oscuridad durante un período de tiempo

determinado, generalmente cinco días. Durante este período, los microorganismos presentes en la muestra consumen la materia orgánica biodegradable y, como resultado, se produce una disminución en la concentración de oxígeno disuelto.

Durante el proceso de incubación, se mide la disminución de la concentración de oxígeno disuelto (OD) utilizando un electrodo especializado. Esta disminución en la concentración de OD es una indicación de la DBO y representa la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en la muestra, expresada en mg O<sub>2</sub>/L.

La medición de la DBO se realiza utilizando un electrodo que registra los cambios en la concentración de oxígeno disuelto a lo largo del período de incubación. La diferencia entre la concentración inicial y final de oxígeno disuelto proporciona una medida de la DBO, que se expresa en miligramos de oxígeno consumidos por litro de muestra (mg/L).

Es importante destacar que la prueba de DBO<sub>5</sub> no determina la cantidad total de materia orgánica presente en la muestra, ya que muchos compuestos orgánicos no se descomponen por las reacciones biológicas y bioquímicas que ocurren durante el período de incubación de cinco días. Además, después de este período de incubación, pueden ocurrir procesos adicionales, como la nitrificación, que no se tienen en cuenta en la medición de la DBO<sub>5</sub>.

En resumen, la prueba de DBO<sub>5</sub> es una herramienta efectiva para medir la cantidad de materia orgánica biodegradable en aguas residuales o naturales, pero es importante tener en cuenta las limitaciones del ensayo y comprender que no proporciona una evaluación completa de la materia orgánica total presente en la muestra.

**Ilustración 30 Determinación del DBO**



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**Ilustración 31 Proceso de la determinación del DBO**



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

### Ilustración 32 Seguimiento del proceso de determinación de DBO



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**3.3.4.5. Medidas de Seguridad.** Es fundamental mantener los equipos siempre protegidos del polvo y alejados de fuentes de agua para garantizar su correcto funcionamiento y evitar daños. Asimismo, se recomienda utilizar mandil, gafas protectoras y guantes como medidas de seguridad personal.

El uso del mandil proporciona una barrera física adicional para proteger la ropa y el cuerpo de posibles salpicaduras, derrames o contaminación. Las gafas protectoras son indispensables para resguardar los ojos de cualquier partícula o sustancia que pueda causar lesiones o irritaciones. Además, el uso de guantes ofrece una protección adicional a las manos, evitando el contacto directo con productos químicos o sustancias peligrosas.

Estas medidas de seguridad son cruciales para prevenir accidentes, minimizar riesgos y mantener un ambiente de trabajo seguro en todo momento.

### 3.3.4.6. Equipos y Materiales.

#### 3.3.4.6.1. Equipos

Tabla 22 Descripción de los equipos usados en la determinación del DBO

Nombre del equipo	Código del equipo
Incubadora	EQ-03
Medidor portátil HQ40d	EQ-01-00
Sonda o electrodo LDO	EQ-01-02
Bomba aireadora	EQ-09

Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

#### 3.3.4.6.2. Materiales

- Botellas de incubación para DBO<sub>5</sub>, de 300 mL de capacidad, con tapa.
- Frascos grandes o baldes (2 - 5 litros) para la preparación del agua de dilución y el llenado de las botellas de DBO<sub>5</sub>. Un recipiente de vidrio o plástico lo suficientemente grande como para suministrar toda el agua de dilución de un determinado lote de muestras debe ser utilizado como el depósito de agua de dilución.
- Pipetas terminales de 5 y 10 ml.
- Fiolas de 500 ml.
- Beakers.
- Pipetas volumétricas de 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 25, 50 y 100 ml.
- Barras magnéticas.
- Tapones de algodón o plástico.
- Manipulador o pera de succión.

**Ilustración 33 Implementos usados en la prueba**



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

### **3.3.4.7. Reactivos**

- Agua destilada.
- Glucosa. - Grado reactivo analítico.
- Ácido glutámico. - Grado reactivo analítico.
- Medio mineral (Nutrientes): Utilice los cojinetes HACH para preparación de medio mineral.

El medio mineral también puede ser preparado como se describe a continuación:

Fosfato diácido de potasio, $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .....	8,50 g
Fosfato ácido de potasio, $\text{K}_2\text{HPO}_4$ .....	21,75 g
Fosfato ácido de sodio dihidrato, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .....	33,40 g
Cloruro de amonio, $\text{NH}_4\text{Cl}$ .....	1,70 g

Disolver en agua y completar hasta 1 litro.

El pH de la solución debe ser 7,2 sin posteriores ajustes. Si se presenta alguna señal de crecimiento biológico, descartar este o cualquiera de los otros reactivos.

Cloruro de calcio dihidrato,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ..... 36,40 g

Disolver en agua y completar hasta 1 litro.

Sulfato de magnesio heptahidratado,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .....22,50 g

Disolver en agua y completar hasta 1 litro.

Cloruro férrico hexahidratado,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .....0,25 g

Disolver en agua y completar hasta 1 litro.

Agregar un ml de cada una de estas soluciones por cada litro de agua de osmosis.

- **Soluciones ácida y alcalina:** Ácido sulfúrico 1 N o Hidróxido de sodio 1N, para neutralización de muestras cáusticas o ácidas.
- **Solución de sulfito de sodio:** Disolver 1,575 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  en 1000 mL de agua destilada. Esta solución no es estable y se debe preparar diariamente. Esta solución se usa en muestras que tenga valores altos de cloro.
- **Inhibidor de nitrificación.** - 2-cloro-6-(triclorometil) piridina, para CBOD.
- **Solución de cloruro de amonio.** - Disolver 1,15 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  en 500 mL de agua destilada, ajustar el pH a 7,2 con solución de NaOH, y diluir a 1 L. La solución contiene 0,3 mg de N/mL.
- **Inoculo.** - semilla o inoculo natural proveniente de aguas residuales domésticas.
- **Preparación de Semillas**

- **Preparación de la semilla agua residual domestica**

En el proceso de prueba de DBO5, es crucial contar con una población adecuada de microorganismos capaces de oxidar la materia orgánica biodegradable presente en la muestra. En general, las aguas residuales domésticas no cloradas, los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales biológicas y las aguas superficiales que reciben descargas de aguas residuales suelen contener poblaciones microbianas satisfactorias.

Sin embargo, algunas muestras pueden carecer de una población microbiana suficiente para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica. Esto puede ocurrir en casos como residuos industriales no tratados, residuos desinfectados, desechos de alta temperatura o muestras con valores extremos de pH. En tales situaciones, es necesario utilizar agua de dilución sembrada o agregar una población de microorganismos a la muestra.

El material de semilla bacteriana debe recolectarse con al menos una hora de anticipación y colocarse en la incubadora a una temperatura controlada de  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Antes de su uso, se debe agitar el líquido sobrenadante que contiene la población microbiana. Es importante destacar que la semilla no debe utilizarse después de 36 horas de almacenamiento, ya que la actividad y la viabilidad de los microorganismos pueden verse comprometidas con el tiempo.

Garantizar una población microbiana adecuada en la muestra es esencial para obtener resultados precisos y representativos en la prueba de DBO5, ya que son los microorganismos los responsables de la oxidación bioquímica de la materia orgánica.

- **Preparación del Estándar.**

Para preparar la solución de glucosa-ácido glutámico, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Secar la glucosa y el ácido glutámico a una temperatura de aproximadamente  $103^{\circ}\text{C}$  durante 1 hora. Este proceso asegura la eliminación de cualquier humedad presente en los componentes.

2. Disolver 150 mg de glucosa y 150 mg de ácido glutámico en agua destilada. La cantidad de agua utilizada debe ser suficiente para obtener una solución final de 1 litro de volumen.

3. Diluir la solución obtenida a 1 litro utilizando agua destilada. Es importante asegurarse de que los componentes se hayan disuelto por completo en el agua destilada.

4. Es recomendable preparar la solución de glucosa-ácido glutámico justo antes de su uso para garantizar su frescura y eficacia. Sin embargo, si se necesita almacenar, se puede refrigerar, pero su vida útil será de aproximadamente 15 días.

5. No es necesario utilizar preservativos en la solución de glucosa-ácido glutámico. Sin embargo, se debe tener en cuenta que su estabilidad disminuirá con el tiempo, por lo que se recomienda utilizarla lo antes posible después de su preparación para obtener resultados óptimos.

La solución de glucosa-ácido glutámico se utiliza como un estándar en la prueba de DBO5 para verificar la adecuación de la técnica y la potencia de la semilla utilizada en el análisis.

- **Preparación del agua de dilución.**

Para preparar el buffer nutritivo o las soluciones buffer necesarios en la prueba de DBO5, siga los siguientes pasos:

1. Determine la cantidad de botellas a utilizar en el ensayo. Calcule la cantidad de medio mineral requerido multiplicando el número de botellas por 300 ml. Por ejemplo, si se van a utilizar 5 botellas, se necesitarán 1500 ml de medio mineral.

2. Utilice los cojinetes de buffer nutritivo HACH o las soluciones buffer disponibles. Si se utilizan los cojinetes de buffer nutritivo, disuelva cada cojinete en 300 ml de agua destilada. Si se utilizan las soluciones buffer, agregue 1 ml de cada solución por cada litro de agua destilada.

3. Prepare la cantidad necesaria de medio mineral disolviendo los cojinetes de buffer o las soluciones buffer en la cantidad requerida de agua en las botellas de 2-5

litros mencionadas anteriormente. Asegúrese de seguir las instrucciones específicas proporcionadas por el fabricante para la disolución adecuada de los cojinetes o las soluciones.

4. Mantenga el agua de dilución aireando y tapada con plástico o algodón para evitar la contaminación externa y mantener las condiciones ambientales del laboratorio. Esto asegurará la estabilidad del medio mineral y evitará posibles cambios en los resultados del ensayo.

Es importante seguir las recomendaciones y procedimientos establecidos por el fabricante de los cojinetes de buffer o las soluciones buffer utilizadas para garantizar la preparación correcta del medio mineral y obtener resultados precisos en la prueba de DBO5.

**3.3.4.7.1. Preparación de la Solución Estándar.** Para garantizar un adecuado desarrollo del ensayo de DBO5, se deben seguir las siguientes indicaciones:

1. Prenda la incubadora con al menos 24 horas de anticipación para permitir que se estabilice a la temperatura requerida de  $20 \pm 1$  °C. Esto asegurará que el ambiente de incubación se mantenga constante durante todo el proceso.

2. Verifique el funcionamiento del equipo EQ-01-00, que corresponde al equipo utilizado en el ensayo de DBO5, y de su sonda EQ-01-02. Asegúrese de que estén en buen estado de funcionamiento antes de iniciar el ensayo. Realice cualquier calibración o ajuste necesario según las instrucciones del fabricante.

3. Prepare el agua de dilución aireada al menos 30 minutos antes de su utilización. Esto implica asegurarse de que el agua destinada a diluir las muestras esté correctamente aireada para proporcionar un suministro adecuado de oxígeno a los microorganismos durante la incubación. Puede utilizar métodos de aireación como agitar el agua vigorosamente o utilizar dispositivos de aireación específicos.

Siguiendo estas recomendaciones, se asegurará que la incubadora esté lista y establecida a la temperatura correcta, el equipo esté en condiciones óptimas de

funcionamiento y el agua de dilución esté adecuadamente aireada, lo cual contribuirá a obtener resultados precisos y confiables en el ensayo de DBO5.

**3.3.4.8. Preparación de los Equipos.** Para asegurar un correcto desarrollo del ensayo, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Incubadora:

Encienda la incubadora con al menos 24 horas de anticipación al inicio del ensayo. Esto permitirá que la temperatura se estabilice a  $20 \pm 1$  °C, que es la temperatura requerida para el ensayo.

Verifique que la incubadora esté funcionando correctamente y que la temperatura se mantenga dentro del rango especificado. Esto se puede hacer mediante la lectura de los controles y la observación de la temperatura interna.

Asegúrese de que la incubadora esté limpia y libre de cualquier residuo o contaminante que pueda afectar los resultados del ensayo.

2. Equipo EQ-01-00 y sonda EQ-01-02:

Realice una verificación del funcionamiento del equipo EQ-01-00 y su sonda EQ-01-02. Esto implica asegurarse de que estén en buen estado, limpios y calibrados correctamente.

Verifique que la sonda esté conectada correctamente al equipo y que no presente daños en los cables o en la punta de medición.

Si es necesario, realice una calibración de la sonda de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

3. Agua de dilución aireada:

Prepare el agua de dilución como mínimo 30 minutos antes de su utilización. Asegúrese de que el agua esté aireada para permitir la oxigenación adecuada durante el ensayo.

Puede utilizar un recipiente limpio y transparente para contener el agua de dilución.

Tape el recipiente con plástico o algodón para evitar la contaminación externa, pero asegúrese de que haya suficiente entrada de aire para la aireación.

Verifique que el agua de dilución esté a temperatura ambiente antes de su uso.

Siguiendo estos pasos, se garantiza una preparación adecuada del entorno y del equipo necesario para llevar a cabo el ensayo de manera precisa y confiable.

**3.3.4.9. Procedimiento del Ensayo.** A continuación, se presenta un esquema de separación y rotulado recomendado para organizar y etiquetar las botellas utilizadas en el ensayo:

1. Separación por tipos de muestra: Clasificar las botellas según el tipo de muestra que contienen, como muestras de agua cruda, muestras tratadas, muestras de control, etc.

2. Etiquetado de identificación: En cada botella, colocar una etiqueta claramente legible que contenga información relevante como el número de muestra, la fecha de recolección, el origen de la muestra y cualquier otra información necesaria para identificarla adecuadamente.

3. Etiquetado de advertencia: Si las muestras contienen sustancias peligrosas o requieren precauciones especiales, agregar una etiqueta de advertencia correspondiente para garantizar la seguridad en su manipulación y almacenamiento.

4. Registro y documentación: Mantener un registro detallado de todas las botellas utilizadas, incluyendo la información de identificación, fecha de recolección, tipo de muestra, condiciones de almacenamiento, entre otros datos relevantes. Esto ayudará a mantener un seguimiento preciso de las muestras y facilitará el análisis de los resultados.

Es importante asegurarse de seguir los procedimientos y regulaciones pertinentes en cuanto al manejo de muestras y etiquetado, tanto a nivel local como según las normativas y estándares aplicables a tu área de estudio.

**Tabla 23 Colocación de las botellas para el ensayo de determinación del DBO5**

	# de botellas	Sustancia	Inoculo	Rotulo
<b>Blanco -1 control/agua dilución</b>	1	Medio mineral	No	B -1+ fecha
<b>Blanco -2 control/agua dilución inoculada</b>	1	Medio mineral	0.5 a 2 ml semilla de agua residual domestica	B-2 + fecha
<b>Blanco -3 inoculo</b>	1	Medio mineral	5 a 25 ml semilla de agua residual domestica	B-3 + fecha
<b>Blanco -4 Estándar</b>	1	Medio mineral + estándar	0.5 a 2 ml semilla de agua residual domestica	B-4 + fecha
<b>Muestras</b>	2 dilución/ dos por muestra	Medio mineral + muestra	0.5 a 2 ml semilla de agua residual domestica	Código de la Muestra + fecha

**Elaborado por:** Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**3.3.4.10. Técnica de dilución.** La obtención de resultados precisos en el análisis de DBO se logra utilizando diluciones de muestra que presenten valores de OD residual de al menos 1 mg/L y un consumo de OD de al menos 2 mg/L después de 5 días de incubación. Estas condiciones permiten una adecuada actividad metabólica de los microorganismos presentes en la muestra y una degradación significativa de la materia orgánica biodegradable.

La experiencia adquirida al analizar muestras de diversos orígenes brinda la oportunidad de optimizar el número de diluciones requeridas en el ensayo. La correlación entre los valores de DQO y DBO se convierte en una herramienta efectiva para seleccionar las diluciones más apropiadas en cada caso. Esta correlación proporciona una guía sólida para determinar las diluciones que maximizan la eficiencia y precisión del análisis.

Se recomienda realizar previamente la determinación de DQO (Demanda Química de Oxígeno) antes del análisis de DBO. Esto proporciona un criterio más sólido para determinar la dilución óptima de la muestra. Además, el conocimiento del origen de las muestras también puede ser útil para comprender mejor sus características y seleccionar las diluciones adecuadas en el proceso de análisis de DBO.

Tomar en cuenta estos factores durante el análisis de DBO garantiza una evaluación más precisa y confiable de la degradabilidad de la materia orgánica presente en las muestras de agua.

**Tabla 24 Diluciones de DBO<sub>5</sub>**

<b>Diluciones de DBO<sub>5</sub></b>			
<b>Muestra (ml) añadido a 300ml de una botella de DBO.</b>	<b>DBO<sub>5</sub> mínimo esperado.</b>	<b>Rango máximo (mg/L)</b>	<b>Factor de Dilución</b>
0.5	1,200	3,400	600
1	630	1,800	300
2	210	560	150
5	105	280	60
10	70	187	30
25	26	70	12
50	11	28	6
100	8	22	3
150	4	12	2
300	2	6	1

**Elaborado por:** Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

La necesidad de realizar diluciones en el análisis de muestras de agua residual depende del contenido de oxígeno disuelto presente en la muestra. Cuando la concentración de oxígeno disuelto se encuentra en el rango de 3 a 8 ppm o mg/L, no es necesario realizar diluciones y se puede sembrar directamente la muestra en el ensayo.

En el caso de muestras de agua natural no contaminadas, generalmente ricas en oxígeno disuelto, tampoco es necesario llevar a cabo diluciones, ya que la concentración de oxígeno es suficiente para el desarrollo de los microorganismos involucrados en el análisis de DBO.

Es importante tener en cuenta que, al mezclar las muestras, se debe hacer de manera homogénea para evitar la pérdida de sólidos y minimizar la aireación. Esto se logra mediante técnicas adecuadas de agitación o mezclado que no introduzcan aire

en la muestra, ya que la presencia de oxígeno adicional podría afectar los resultados del análisis de DBO

Al considerar estos aspectos durante el proceso de preparación de muestras, se garantiza un análisis preciso y confiable de la demanda bioquímica de oxígeno, evitando interferencias o distorsiones en los resultados debido a la presencia de oxígeno disuelto o la falta de homogeneidad en las muestras.

**3.3.4.11. Diluciones Preparadas Directamente en las Botellas.** Para realizar las diluciones en las botellas de DBO5, siga estos pasos:

1. Utilice una pipeta volumétrica para agregar el volumen deseado de muestra en cada botella de DBO5. Asegúrese de tener en cuenta las diluciones necesarias según los requerimientos del análisis.

2. Agregue la cantidad adecuada de semilla o inóculo en cada botella, utilizando una pipeta volumétrica.

3. Llene las botellas con suficiente agua de dilución, asegurándose de que el volumen total alcance el nivel requerido. Esto se puede lograr mediante el uso de una probeta o pipeta graduada.

4. Tape las botellas herméticamente para evitar la entrada de aire y agite suavemente invirtiendo la botella de arriba hacia abajo. Esto ayudará a mezclar la muestra y la semilla de manera homogénea, evitando la formación de burbujas de aire.

5. Determine y registre el valor inicial de oxígeno disuelto (OD) en cada botella utilizando un equipo de medición adecuado. Asegúrese de tapar herméticamente cada botella con un sello de agua para evitar la contaminación cruzada entre las muestras durante la incubación.

6. Incube las botellas a una temperatura de 20°C durante 5 días. Durante este período, es importante enjuagar el electrodo entre determinaciones para prevenir cualquier contaminación cruzada de las muestras.

Si se requieren diluciones mayores a 0.5:300, se recomienda realizar una dilución preliminar en un matraz aforado de 100 ml antes de realizar la dilución final en la botella de DBO5. Esto permitirá obtener una concentración adecuada y precisa para el análisis.

Al seguir estos pasos, se garantiza la preparación adecuada de las diluciones en las botellas de DBO5, asegurando una mezcla homogénea de la muestra y la semilla, así como un registro preciso de los valores de OD inicial para el posterior análisis de la DBO.

**3.3.4.12. Inoculación.** La semilla de agua residual se agrega a cada botella de DBO5 que contiene la muestra, el blanco inoculado y el estándar. Se añaden de 0,5 a 2 ml de inóculo de agua residual doméstica. Esta inoculación es necesaria en el caso de cantidades desconocidas de muestras, residuos industriales, ríos, esteros contaminados u otras muestras que no tendrán una cantidad suficiente de bacterias para degradar eficientemente su materia orgánica.

La función de la semilla es proporcionar una población microbiana activa y diversa que pueda descomponer la materia orgánica presente en las muestras de manera efectiva. Al agregar el inóculo, se asegura que las condiciones adecuadas de degradación biológica estén presentes durante el período de incubación de 5 días a 20°C.

Esta práctica permite simular las condiciones naturales de degradación de la materia orgánica y proporciona resultados más precisos para la determinación de la DBO5.

**3.3.4.13. Determinación del OD Inicial.** Es importante determinar el valor de disuelto de oxígeno (OD) inicial de la muestra inmediatamente después de llenar la botella de DBO con la muestra diluida, en el caso de que la muestra contenga materiales que reaccionen rápidamente con el OD. Si la reacción inicial de absorción de OD es insignificante, el tiempo transcurrido entre la preparación de la dilución y la medición de OD inicial no es crítica, pero se debe evitar que exceda los 30 minutos.

El motivo detrás de esta práctica es asegurar que el valor de OD inicial registrado sea representativo de la condición real de la muestra al comienzo del

ensayo de DBO5. Algunos materiales presentes en la muestra pueden consumir oxígeno rápidamente, lo que podría afectar la precisión de los resultados si se realiza la medición del OD inicial después de un período prolongado de tiempo.

Por lo tanto, para garantizar resultados confiables y precisos, se debe medir el OD inicial lo más cerca posible del momento en que se llena la botella de DBO con la muestra diluida. Si se observa que la reacción inicial de absorción de OD es insignificante, se permite un pequeño intervalo de tiempo de hasta 30 minutos antes de realizar la medición.

Teniendo en consideración que el ensayo de DBO5 es un método estándar para evaluar la contaminación orgánica en aguas residuales y naturales, y el seguimiento adecuado de los procedimientos y tiempos de medición es fundamental para obtener resultados precisos y confiables.

**3.3.4.14. Incubación.** Coloque las botellas de los blancos, el control de la semilla, el estándar y las muestras en la incubadora a una temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . Es importante mantener una temperatura constante durante el período de incubación para obtener resultados precisos y comparables.

Para evitar la entrada de aire en la botella de dilución durante la incubación, se recomienda utilizar un sello de agua. Esto se puede lograr de manera efectiva invirtiendo las botellas en un baño de agua o agregando agua en el reborde cóncavo de la boca de las botellas diseñadas para la DBO5.

Además, se recomienda colocar una copa de papel, plástico o un capuchón metálico sobre la boca de la botella para reducir la evaporación del sello de agua durante el período de incubación. Esto ayudará a mantener el equilibrio adecuado de oxígeno y gases en el interior de la botella durante el ensayo.

Es importante seguir estas prácticas para garantizar condiciones de incubación estables y reproducibles, lo que contribuirá a obtener resultados precisos y confiables de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).

**3.3.4.15. Determinación del OD final.** Después de 5 días de incubación, es de suma importancia determinar el valor de oxígeno disuelto (OD) en las muestras

diluidas, el control de la semilla, los blancos y el estándar o patrón. Llevando un registro del OD final de cada botella, es decir, el valor de OD al final del período de incubación.

Para que una prueba sea válida y confiable en una botella de DBO, la incubación debe resultar en una deflexión de OD de al menos 2,0 mg/L. Además, se requiere que haya un aumento mínimo de 1,0 mg/L en el valor de OD al final del período de incubación en comparación con el valor inicial (OD inicial).

Este incremento en el OD es indicativo de la actividad biológica en la muestra, donde los microorganismos presentes han consumido oxígeno mientras degradan la materia orgánica presente en el agua.

El cumplimiento de estos criterios de deflexión y aumento del OD asegura que la prueba de DBO5 sea confiable y válida, y proporcione información útil sobre la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en la muestra.

#### **3.3.4.16. Cálculos de la DBO5**

$$DBO_5 \text{ mg/l} = \frac{(D_1 - D_2) - (S)V_s}{P}$$

Donde:

D1 = OD inicial en mg/L.

D2 = OD Final en mg/L.

S= La captación o deflexión de Oxígeno en el control de la semilla. Delta OD/ml, volumen de semilla en el control (S=0, si no se agrega semilla a las muestras).

Vs= Volumen de semilla en ml, agregada a cada botella en el análisis

P = fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada; 1/P=factor de dilución,

**3.3.4.16. Unidad de los Resultados.** Es fundamental destacar que el equipo utilizado en este análisis cuenta con la capacidad de realizar una lectura directa de los resultados, lo que implica que los valores obtenidos se presentan de manera

inmediata y sin necesidad de realizar cálculos adicionales. Esta característica del equipo permite una interpretación y registro más ágil y eficiente de los datos.

Los resultados se expresan en unidades de mg/L (miligramos por litro), lo que significa que representan la concentración de la sustancia medida en la muestra. Esta unidad de medida es ampliamente utilizada en análisis químicos y garantiza una comparabilidad y comprensión adecuada de los resultados.

La capacidad de lectura directa del equipo no solo simplifica el proceso de obtención de datos, sino que también contribuye a una mayor precisión en la evaluación de los niveles de interés en el análisis de las muestras. Esto reduce la posibilidad de errores derivados de cálculos manuales y proporciona una mayor confiabilidad en los resultados obtenidos.

En resumen, el uso de un equipo de lectura directa en unidades de mg/L en el análisis garantiza una medición más eficiente, precisa y confiable de los niveles de interés en las muestras analizadas.

### **3.4. Población y Muestra**

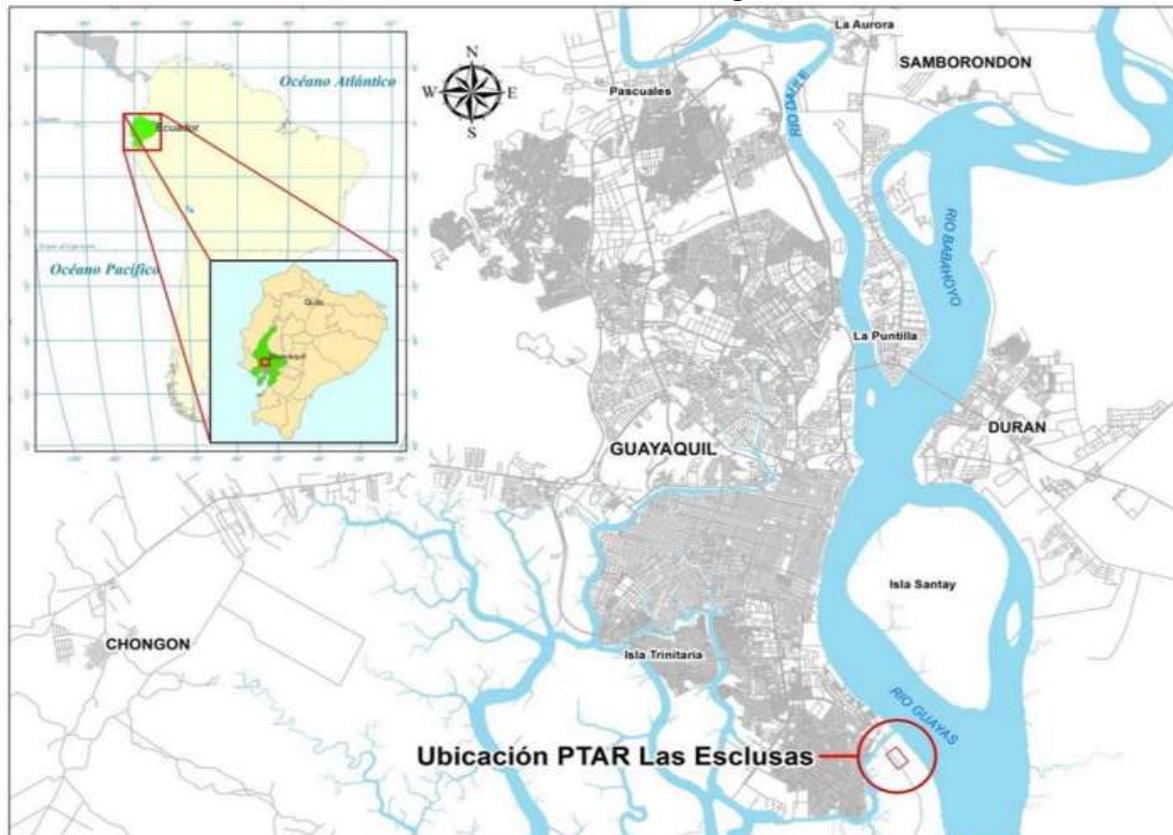
La población y muestra de este estudio se centra en las aguas residuales crudas generadas en la ciudad de Guayaquil, las cuales son recolectadas y transportadas a lugares centralizados que desembocan en los ríos Daule y Guayas. Debido a las fluctuaciones en los niveles de los ríos causadas por las mareas, las aguas residuales deben ser bombeadas las 24 horas del día.

Las estaciones de bombeo principales que prestan servicio a las cuencas sanitarias de la ciudad son Guasmo H y Pradera. Según las recomendaciones del Estudio de Factibilidad del Tratamiento de las Aguas Residuales de Guayaquil, se planea recolectar y transportar la mayor parte de las aguas residuales generadas en la municipalidad de Guayaquil hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) "Las Esclusas".

Por lo tanto, la población de interés en este estudio se refiere a las aguas residuales crudas generadas en la ciudad de Guayaquil, mientras que la muestra está representada por las aguas residuales recolectadas y transportadas hacia las

estaciones de bombeo de Guasmo H y Pradera en el Subsistema Sur, las cuales se pretende tratar en la futura PTAR ubicada en "Las Esclusas".

#### **Ilustración 34 Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Esclusas**



Fuente: EMAPAG – EP (s.f.)

### **3.5. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Esclusas**

Esta planta tiene como objetivo principal beneficiar a una población de 1'077,948 habitantes ubicados en el sector sur de la ciudad de Guayaquil. Específicamente, se enfocará en mejorar las condiciones de los habitantes de los sectores Isla Trinitaria, Guamo y Suburbio Oeste.

Dentro de estas áreas, se llevará a cabo la rehabilitación de la red de alcantarillado en el Suburbio Oeste y se instalarán conexiones intradomiciliarias en todas las zonas mencionadas. Esto permitirá mejorar la infraestructura sanitaria y garantizar el acceso adecuado al servicio de alcantarillado para los habitantes de estas comunidades.

El área total del proyecto abarca una extensión aproximada de 5,913 hectáreas, lo que demuestra la amplitud y el alcance de las mejoras que se llevarán

a cabo. Esta iniciativa contribuirá significativamente a mejorar la calidad de vida de la población beneficiaria al proporcionar servicios de saneamiento básico adecuados y mitigar los riesgos asociados con la gestión inadecuada de las aguas residuales.

### **3.5.1. Localización Geográfica del Proyecto**

La construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Las Esclusas se llevó a cabo en terrenos de propiedad de la Municipalidad de Guayaquil, ubicados al sur de la ciudad. El emplazamiento seleccionado para la planta se encuentra en el área conocida como La Josefina, atravesando el Estero Cobina. El acceso a la planta se realizará a través de la Avenida Raúl Clemente Huerta (también conocida como Avenida Las Esclusas), la cual se conecta con la Avenida 25 de Julio.

Cabe destacar que no existen propiedades residenciales en las zonas circundantes al sitio de la planta. En el lado sur y oeste de los límites de la planta se encuentran lagunas dedicadas a la actividad camaronera. En el límite norte, se encuentra adyacente una subestación eléctrica, mientras que las propiedades comerciales se ubican hacia el este. Es importante destacar que el sitio de la planta no está desarrollado y está cubierto de vegetación.

El área total del terreno destinado para la construcción de la PTAR es de aproximadamente 24 hectáreas. A continuación, se detallan las coordenadas de los vértices del predio:

**Tabla 25 Coordenadas de la PTAR Las Esclusas**

Punto	Norte	Este
<b>A</b>	1991544,47	501981,31
<b>B</b>	1992025,79	501622,83
<b>C</b>	1991787,00	501301,80
<b>D</b>	1991305,67	501660,28

**Elaborado por:** Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

En resumen, la PTAR Las Esclusas se construirá en terrenos de propiedad municipal ubicados en el sector de La Josefina, al sur de la ciudad de Guayaquil. El sitio se accederá a través de la Avenida Las Esclusas, conectada a la Avenida 25 de

Julio. No hay propiedades residenciales en las áreas adyacentes, pero existen lagunas camaroneras, una subestación eléctrica al norte y propiedades comerciales al este. El área total del terreno para la planta es de aproximadamente 24 hectáreas.

**Ilustración 35 Ubicación actual de la PTAR**



Fuente: Google earth (s.f.)

### **3.5.2. Parámetros y Tecnologías Usadas Actualmente en la Ptar.**

**3.5.2.1. Tecnología Utilizada en la Ptar.** La tecnología de tratamiento recomendada para la PTAR Las Esclusas es el Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT). Este proceso se asemejará al de las modernas plantas CEPT que emplean equipos mecánicos de mezcla rápida para lograr la coagulación de partículas coloidales, seguido por un proceso de floculación controlada en tres etapas. Las plantas CEPT que utilizan estos procesos unitarios han demostrado altos índices de remoción de DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y SST en una carga superficial hidráulica (TDS) reducida.

A modo de ejemplo, en la PTAR CEPT Stonecutters Island en Hong Kong, operando a una velocidad de 20 m<sup>3</sup>/s, se han reportado remociones del 70% de DBO5 y 80% de SST, con un índice de TDS de 50 a 60 m/día. Es importante destacar que en el diseño detallado de la PTAR Las Esclusas se ha previsto posponer la

construcción de uno o más tanques o unidades para que coincida en el tiempo con los caudales reales que llegarán a la planta.

Este enfoque permite adaptar el proceso de tratamiento a las variaciones de caudal que puedan ocurrir en el futuro, asegurando la eficiencia del sistema en diferentes condiciones operativas. Al implementar la tecnología CEPT, se espera obtener resultados óptimos de remoción de contaminantes, cumpliendo con los estándares de calidad del efluente requeridos, y contribuyendo así a la preservación del medio ambiente y la protección de los recursos hídricos en la región.

**3.5.2.2. Parámetros y Requerimientos.** El primer criterio de evaluación es de suma importancia, ya que se centra en la capacidad de la tecnología propuesta para cumplir con los requisitos establecidos en el efluente, específicamente, mantener un nivel de 100 mg/L tanto para DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) como para SST (Sólidos Suspendidos Totales). Este requerimiento es crucial para asegurar un efluente que se ajuste a los estándares ambientales vigentes y garantizar la protección del medio ambiente.

**Ilustración 36 Requerimientos de Desempeño del Tratamiento**

Parámetro	Criterio de diseño	Estándar del efluente	Porcentaje de remoción
Caudal Promedio (m <sup>3</sup> /s)	2,66	-	-
DBO5 (mg/l)	156	100	36%
SST (mg/l)	130	100	30%

**Fuente:** EMAPAG – EP (s.f.)

En el contexto del tratamiento de aguas residuales, los estándares del efluente durante condiciones de tiempo seco son de gran importancia y deben ser satisfechos de manera rigurosa. Entre los criterios que se deben cumplir, la remoción de DBO5 emerge como el más desafiante. Los clarificadores primarios convencionales, por ejemplo, habitualmente logran remover entre un 25% y un 35% de DBO5 mediante el proceso de sedimentación por gravedad, lo cual indica que alcanzar una eliminación del 40% representa un objetivo ambicioso.

En este contexto, es pertinente destacar dos procesos viables que podrían permitir alcanzar la eliminación de DBO5 del 40%: el primero de ellos es el enfoque físico-químico, el cual se basa en la utilización de coagulantes químicos para

promover la aglomeración de partículas coloidales, seguido por la floculación, que favorece la formación de flóculos más grandes y, finalmente, la separación líquida/sólidos, que contribuye a la remoción eficiente de contaminantes.

Por otro lado, el segundo proceso viable es de naturaleza biológica, llevándose a cabo bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas, dependiendo de las características particulares del tratamiento. En esta alternativa, los microorganismos presentes en el sistema juegan un papel fundamental, utilizando los sólidos y la DBO5 soluble como fuente de alimento para lograr una reducción significativa de la DBO5 presente en el efluente.

Si bien ambos enfoques ofrecen resultados prometedores, es fundamental seleccionar la estrategia más adecuada teniendo en cuenta las particularidades del agua residual a tratar, las condiciones ambientales y los recursos disponibles. En conclusión, cumplir con el primer criterio de evaluación, que se centra en la eliminación de DBO5 y SST para alcanzar los estándares establecidos, es un desafío técnico y operacional que requiere de una cuidadosa elección de tecnologías y procesos eficientes y sostenibles. El éxito en este aspecto permitirá asegurar un tratamiento de aguas residuales eficaz, contribuyendo a la preservación del medio ambiente y el bienestar de la comunidad en general.

**3.5.2.2.1. Valores de Desempeño de la Ptar.** Para llevar a cabo el diseño con clarificadores primarios de la PTAR Las Esclusas, el sistema ha permitido remover un 40% de DBO5 y un 60% de SST (Sólidos Suspendedos Totales). No obstante, en la práctica real, la adición de productos químicos en el proceso será ajustada de manera precisa para asegurar el cumplimiento del estándar establecido de 100 mg/L de DBO5 en el efluente.

En la Tabla 25 se presenta el desempeño obtenido para el tratamiento en la PTAR, así como la calidad del efluente antes de su descarga al río Guayas. Para evaluar la calidad del efluente, se llevó a cabo un análisis detallado utilizando muestras obtenidas en la caja del emisario, la cual se encuentra ubicada posterior al tanque de contacto de cloro.

**Tabla 26 Desempeño del CEPT con adición de químico de la Ptar Las Esclusas**

Parámetros	Unidades	Tiempo Seco		Tiempo Húmedo	
		Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Caudal Promedio	m <sup>3</sup> /s	2,66	2,66	3,63	3,63
Caudal Máximo	m <sup>3</sup> /s	5,32	5,32	7,26	7,26
DBO5	mg/l	156	94	126	76
	TPD	35,8	21,6	39,5	23,8
SST	mg/l	130	52	105	42
	TPD	29,9	12,0	32,9	13,2
DQO	mg/l	234	140	190	114

Fuente: EMAPAG – EP (s.f.)

### **3.5.3. Dosificación Usada Actualmente en la Ptar**

Durante el tiempo seco, se espera que las dosis de cloruro férrico en cada una de las dos cámaras de mezcla rápida de los tanques de floculación varíen según el caudal del efluente y la infiltración proveniente del alcantarillado de la ciudad de Guayaquil. Se estima que las dosis requeridas oscilarán entre un 20% y un 40% de concentración, con el propósito de lograr la remoción adecuada de DBO5 y DQO necesaria para cumplir con los requerimientos establecidos en la normativa aplicable dentro de la planta de tratamiento.

Es importante destacar que, durante el tiempo seco, es probable que el caudal del efluente sea menor debido a la disminución de las precipitaciones y la menor entrada de agua al sistema. En consecuencia, será necesario ajustar las dosis de cloruro férrico para lograr una eficiente coagulación y floculación de los contaminantes presentes en el agua residual, de manera que se cumpla con los estándares de calidad ambiental exigidos.

La variación de las dosis de cloruro férrico también podría estar influenciada por la infiltración del alcantarillado de la ciudad, ya que esta puede introducir una mayor carga de contaminantes al sistema durante el tiempo seco. En este escenario, será fundamental monitorear periódicamente los parámetros de calidad del agua y ajustar las dosis de cloruro férrico según las condiciones específicas para garantizar un tratamiento óptimo y cumplir con las metas de remoción de DBO5 y DQO establecidas por la normativa.

Es así que la dosificación de cloruro férrico en las cámaras de mezcla rápida de los tanques de floculación deberá ser flexible y adaptable durante el tiempo seco, fluctuando entre un 20% y un 40% de concentración, para asegurar un rendimiento eficiente del proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTAR Las Esclusas y cumplir con los requisitos normativos de calidad del agua. Un monitoreo constante y ajustes precisos serán cruciales para lograr una gestión óptima y sostenible de los recursos hídricos en la planta de tratamiento.

**Tabla 27 Dosificación y Cantidad de Cloruro Férrico**

Estación	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Dosis (mg/l)	Cloruro Férrico Máximo (kg/d)
Tiempo Seco	2,66	20 - 40	9.163

Fuente: EMAPAG – EP (s.f.)

### 3.5.4. Área de Influencia del Proyecto

**Ilustración 37 Área de influencia de la PTAR Las Esclusas**



Fuente: EMAPAG – EP (s.f.)

## **CAPÍTULO IV**

### **Propuesta**

#### **4.1. Presentación y Análisis de Resultados**

El presente informe tiene como objeto presentar y analizar los resultados obtenidos a partir de un estudio de evaluación de la calidad del agua en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) "Las Esclusas". Para lograr una comprensión clara y precisa de los hallazgos, se ha dividido la información en dos tablas distintas, cada una con un propósito específico.

La primera tabla, denominada "Tabla 26: Análisis de calidad de agua (Primera prueba de jarra)", fue diseñada para registrar los datos y parámetros recolectados durante la fase inicial del estudio. Aquí se incluyeron los valores medidos de parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), contenido de materia suspendida y otros indicadores relevantes de la calidad del agua en el punto de ingreso a la PTAR. Esta información es esencial para conocer el estado inicial del agua y establecer una línea base que permita contrastar y evaluar los efectos del proceso de tratamiento.

Por otro lado, la segunda tabla, denominada "Tabla 27: Resultados del tratamiento en la PTAR (Segunda prueba de jarras)", es donde se encuentran plasmados los resultados del estudio tras la implementación de los procesos de tratamiento en la PTAR. Aquí se incluyen los niveles de remoción y eficiencia alcanzados para cada uno de los parámetros analizados, comparándolos con los valores iniciales registrados en la Tabla 26. Esta tabla resalta los logros alcanzados en cuanto a la depuración del agua y brinda una visión clara del desempeño de la planta en la remoción de contaminantes y mejoramiento de la calidad del agua tratada.

Es importante destacar que ambas tablas son complementarias y se nutren mutuamente, permitiendo una interpretación precisa de los datos recopilados. La Tabla 26 proporciona una comprensión detallada del estado inicial del agua en la PTAR, mientras que la Tabla 27 pone de manifiesto los resultados finales y el impacto real de los procesos de tratamiento implementados.

En resumen, la primera tabla se concibió con el propósito de conocer la calidad del agua en su estado inicial, mientras que la segunda representa el producto final del estudio, presentando los resultados del tratamiento y los logros alcanzados en la PTAR. Con este análisis meticuloso, se espera brindar una visión completa y precisa de los avances logrados en la mejora de la calidad del agua y el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos.

#### 4.1.1. Primer Muestreo Usando Agua Residual de Entrada a la PTAR Las

##### Esclusas

Tabla 28 Análisis de calidad de agua (Primera prueba de jarras)

Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Límites de referencia
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) Muestra Soluble	mg/l	108,1	17%	SM 5210B PE-1.3	PE 1,3	100
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) Muestra Insoluble	mg/l	206,4	17%	SM 5210B PE-1.3	PE 1,3	100
**Demanda Química de Oxígeno (DQO) Muestra Soluble	mg/l	230	15%	SM 5220 D PE 1.4	PE 1.4	200
**Demanda Química de Oxígeno (DQO) Muestra Insoluble	mg/l	318	15%	SM 5220 D PE 1.4	PE 1.4	200
Test de Jarra 25% Cl3Fe	min-S	0:02:40		ASTM D2035-13		
Test de Jarra 30% Cl3Fe	min	0:03:00		ASTM D2035-13		
Test de Jarra 25% Cl3Fe - 1% Polímero	s	0:00:11		ASTM D2035-13		

Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**4.1.1.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno Soluble y Particulada.** Para realizar el cálculo de la DBO Total en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Las Esclusas", se llevó a cabo una sumatoria que requiere los valores de la DBO Soluble y la DBO Particulada, los cuales fueron obtenidos a partir de la muestra tomada siguiendo el procedimiento estandarizado descrito en la norma vigente.

Las concentraciones de DBO soluble y particulada se expresaron en miligramos por litro (mg/L) y fueron obtenidas mediante análisis químicos específicos. Para la DBO Soluble se utilizó el Método de las diluciones (SM 5210B), mientras que para la DBO Particulada se empleó el Método de electrodo (SM 4500-OG).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la DBO Total correspondiente. Estos valores son fundamentales para evaluar la carga orgánica presente en el agua residual y determinar la eficiencia del tratamiento en la remoción de materia orgánica.

Es importante mencionar que los análisis se llevaron a cabo de acuerdo con las normas y procedimientos establecidos por las autoridades ambientales, garantizando la validez y precisión de los datos obtenidos. Con esta información, se podrá evaluar el desempeño de la PTAR "Las Esclusas" en términos de tratamiento y remoción de contaminantes orgánicos, lo que contribuirá a mejorar la calidad del agua tratada y su impacto en el medio ambiente.

**Tabla 29 Porcentaje de DBO soluble y particulado**

Parámetros	Unidades	Resultados	Porcentaje
<b>DBO soluble</b>	mg/l	108.1	34
<b>DBO insoluble o particulado</b>	mg/l	206.4	66
<b>Total, de DBO</b>	mg/l	314.5	100

Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

$$\sum DBO_T = (DBO_S + DBO_{NS})$$

$$\sum DBO_T = (108,1 \text{ mg/l} + 206,4 \text{ mg/l})$$

$$\sum DBO_T = 314.5 \text{ mg/l}$$

**Ilustración 38 Representación del parámetro DBO dentro de la Ptar**



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**4.1.1.1.1 Porcentaje de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.** El análisis realizado indica que la DBO soluble representa aproximadamente el 52,37% de la DBO particulada en la muestra tomada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Las Esclusas". Esta relación es un dato relevante para entender la composición de la materia orgánica presente en el agua residual y permite realizar cálculos más precisos para determinar la DBO Total y evaluar la carga de materia orgánica que debe ser tratada en el proceso de purificación del agua. Con esta información, se podrá diseñar estrategias más efectivas para optimizar los procesos de coagulación, floculación y desinfección en la PTAR, garantizando una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes y contribuyendo a la preservación del medio ambiente y la salud pública.

$$\% DBO = \left( \frac{DBO_{<}}{DBO_{>}} \right) \times 100$$

$$\% DBO = \left( \frac{108,1}{206,4} \right) \times 100$$

$$\% DBO = (0,5237) \times 100$$

$$\% DBO = 52,37\%$$

**4.1.1.2. Demanda Química de Oxígeno Soluble y Particulada.** Para calcular la DQO Total en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Las Esclusas", se llevó a cabo una sumatoria que requiere los valores de la DQO Soluble y la DQO

Particulada, los cuales fueron obtenidos a partir de la muestra tomada siguiendo el procedimiento estandarizado descrito en la norma vigente.

Las concentraciones de DQO soluble y particulada se expresaron en miligramos por litro (mg/L) y fueron obtenidas mediante análisis químicos específicos utilizando el Método HACH 8000.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la DQO Total correspondiente. Estos valores son fundamentales para evaluar la carga de materia orgánica presente en el agua residual y determinar la eficiencia del tratamiento en la remoción de contaminantes orgánicos.

**Tabla 30 Porcentaje de DQO soluble y particulado**

Parámetros	Unidades	Resultados	Porcentaje
DQO soluble	mg/l	230	42
DQO insoluble o particulado	mg/l	318	58
Total, de DQO	mg/l	548	100

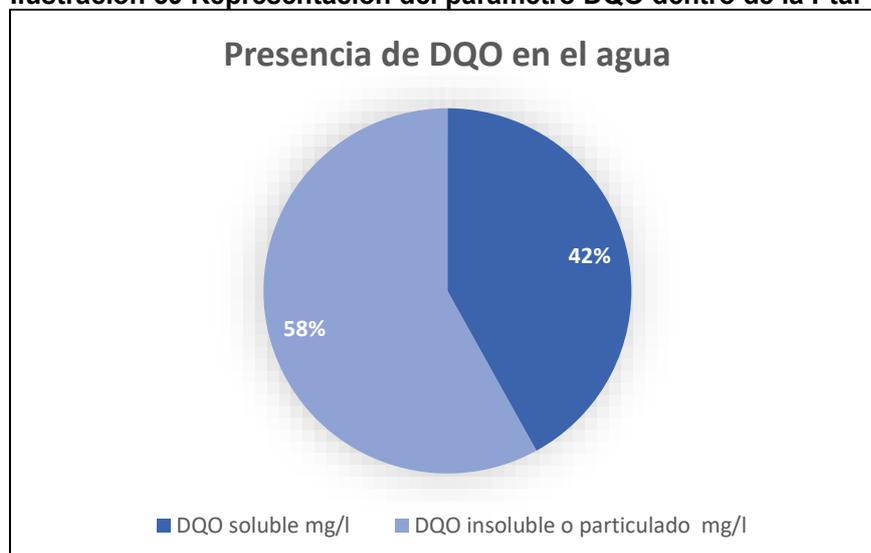
Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

$$\sum DQO_T = (DQO_S + DQO_{NS})$$

$$\sum DQO_T = (230 \text{ mg/l} + 318 \text{ mg/l})$$

$$\sum DQO_T = 548 \text{ mg/l}$$

**Ilustración 39 Representación del parámetro DQO dentro de la Ptar**



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**4.1.1.2.1 Porcentaje de la Demanda Química de Oxígeno.** El análisis realizado indica que la DQO soluble representa aproximadamente el 72,32% de la DQO particulada en la muestra tomada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Las Esclusas". Esta relación es un dato relevante para comprender la composición de la materia orgánica y otros compuestos presentes en el agua residual, lo que permitirá realizar cálculos precisos de la DQO Total y evaluar la carga de contaminantes que se deben eliminar durante el proceso de tratamiento.

Con esta información, se puede ajustar y optimizar el diseño y funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para abordar específicamente la fracción soluble de la DQO y mejorar la eficiencia global del proceso. Al enfocarse en la remoción de la DQO soluble, se puede lograr una mayor eficacia en la purificación del agua, asegurando que los efluentes cumplan con los estándares ambientales y de calidad establecidos. Además, el conocimiento de esta relación entre la DQO soluble y particulada permitirá tomar decisiones informadas para la implementación de tecnologías de tratamiento adecuadas y sostenibles. De esta manera, se contribuye a la protección del medio ambiente y la salud pública, garantizando el suministro de agua limpia y segura para la comunidad.

$$\% DQO = \left( \frac{DQO_{<}}{DQO_{>}} \right) \times 100$$

$$\% DQO = \left( \frac{230}{318} \right) \times 100$$

$$\% DQO = (0,7232) \times 100$$

$$\% DQO = 72,32\%$$

**4.1.1.3. Elección de los parámetros DBO y DQO.** La elección de los valores de DBO insoluble (Demanda Bioquímica de Oxígeno insoluble) y DQO insoluble (Demanda Química de Oxígeno insoluble) sobre los solubles para la aplicación de cloruro férrico y polímero catiónico se debe a las siguientes razones:

Mayor dificultad de remoción: Los contaminantes insolubles en el agua, como partículas suspendidas y materia orgánica insoluble, tienden a ser más difíciles de eliminar en comparación con los contaminantes solubles. Por lo tanto, es de interés evaluar la eficacia de los coagulantes y floculantes en la remoción de estos contaminantes más desafiantes.

Impacto en la calidad del efluente: Los contaminantes insolubles, como sólidos suspendidos, pueden causar turbidez y aspecto visual no deseado en el agua tratada, lo que afecta la calidad estética del efluente. Por lo tanto, es importante asegurar una adecuada remoción de estos contaminantes para obtener un efluente claro y limpio.

Cumplimiento con regulaciones: Las regulaciones ambientales y sanitarias a menudo establecen límites para la concentración de sólidos suspendidos en el efluente. Al enfocarse en la remoción de DBO y DQO insoluble, la planta puede asegurar que los niveles de sólidos suspendidos en el efluente cumplan con los estándares establecidos.

Mejora en la eficiencia del proceso: La adición de cloruro férrico y polímero catiónico puede tener un mayor impacto en la remoción de contaminantes insolubles, lo que lleva a una mejora general en la eficiencia del proceso de tratamiento de aguas residuales.

Es importante mencionar que, si bien se enfocaron en los valores de DBO y DQO insoluble para la aplicación de los químicos, esto no significa que los parámetros solubles no sean importantes. De hecho, ambos grupos de contaminantes deben considerarse y tratarse adecuadamente en el proceso de tratamiento para garantizar un efluente de alta calidad y cumplir con los estándares ambientales requeridos. El enfoque en los contaminantes insolubles puede ser una estrategia complementaria para abordar específicamente ciertos desafíos en la remoción de contaminantes en la PTAR Las Esclusas.

#### 4.1.2. Segundo Muestreo Usando Agua Residual de Entrada y Salida de la PTAR Las Esclusas

Tabla 31 Resultados del tratamiento en la PTAR (Segunda prueba de jarras)

Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Límites de referencia
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) Muestra 25% Cl3Fe – 1% Polímero	mg/l	12,23	13%	SM 5210B PE-1.3	PE 1,3	100
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) Muestra Original	mg/l	206,4	17%	SM 5210B PE-1.3	PE 1,3	100
**Demanda Química de Oxígeno Muestra 25% Cl3Fe - 1% Polímero	mg/l	74	9%	SM 5220 D PE 1.4	PE 1.4	200
**Demanda Química de Oxígeno (DQO) Muestra Original	mg/l	318	15%	SM 5220 D PE 1.4	PE 1.4	200
Test de Jarra 25% Cl3Fe	min-S	0:02:40		ASTM D2035-13		
Test de Jarra 30% Cl3Fe	min	0:03:00		ASTM D2035-13		
Test de Jarra 25% Cl3Fe - 1% Polímero	s	0:00:11		ASTM D2035-13		

Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**4.1.2.1. Análisis de resultados.** Los resultados de las pruebas de jarras para determinar la dosificación más óptima en el tratamiento de aguas residuales en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) "Las Esclusas" se presentan a continuación:

En la primera prueba de jarra, se implementó una dosificación de 25% de cloruro férrico sin la inclusión del polímero catiónico, y se realizó un tiempo de mezclado de 2 minutos y 4 segundos. En un intento por mejorar el rendimiento, se

aumentó la dosificación de cloruro férrico al 30% sin emplear polímero catiónico, y se prolongó el tiempo de mezclado a 3 minutos. Sin embargo, los resultados obtenidos en ambas pruebas no fueron satisfactorios, ya que las remociones de DBO y DQO no alcanzaron los niveles deseados.

En contraste, la tercera prueba de jarra mostró resultados altamente favorables debido a la adopción de una dosificación de 25% de cloruro férrico en combinación con el 1% de polímero catiónico. Lo más destacable fue el notable decremento en el tiempo de mezclado, el cual se redujo drásticamente a tan solo 11 segundos. Esta combinación demostró ser la más eficiente en términos de coagulación y floculación, logrando una rápida aglutinación de partículas y una eficaz separación de los sólidos suspendidos en el agua residual.

La inclusión del polímero catiónico resultó crucial en el proceso de tratamiento, ya que potenció las propiedades del cloruro férrico, permitiendo una coagulación más efectiva y una sedimentación más rápida de las partículas floculadas. Esta sinergia entre ambos agentes coadyuvantes fue la clave para obtener una significativa reducción en los niveles de DBO y DQO, acercándolos a los límites establecidos en los estándares ambientales.

Por lo tanto, se concluye que la tercera dosificación, la cual involucró el 25% de cloruro férrico junto con el 1% de polímero catiónico, es la más óptima para el tratamiento de aguas residuales en la PTAR Las Esclusas. Esta dosificación demostró una eficiencia sobresaliente en la remoción de contaminantes, cumpliendo con los objetivos específicos de la investigación, los cuales incluían definir la dosificación más adecuada de cloruro férrico y su ayudante de coagulación, y determinar los rendimientos iniciales de remoción de los parámetros DBO soluble y particulado, y DQO soluble y particulado.

**Tabla 32 Resultado de las pruebas de jarras en las 3 dosificaciones**

Test de Jarras	Unidad	Resultados
1. 25% Cl <sub>3</sub> Fe	min-s	0:02:40
2. 30% Cl <sub>3</sub> Fe	min	0:03:00
3. 25% Cl <sub>3</sub> Fe - 1% polímero catiónico	s	0:11:00

Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

Ilustración 40 Tiempo de remoción de las 3 dosificaciones



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

#### 4.1.2.1.1. Porcentaje de remoción de DBO

$$\text{Porcentaje de remoción de DBO} = 1 - \left( \frac{\text{Concentración de salida de DBO}}{\text{Concentración de entrada de DBO}} \right) \times 100$$

$$\text{Porcentaje de remoción de DBO} = 1 - \left( \frac{12,23 \text{ mg/l}}{206,4 \text{ mg/l}} \right) \times 100$$

**Porcentaje de remoción de DBO = 94,07%**

#### 4.1.2.1.2. Porcentaje de remoción de DQO

$$\text{Porcentaje de remoción de DQO} = 1 - \left( \frac{\text{Concentración de salida de DQO}}{\text{Concentración de entrada de DQO}} \right) \times 100$$

$$\text{Porcentaje de remoción de DQO} = 1 - \left( \frac{74 \text{ mg/l}}{318 \text{ mg/l}} \right) \times 100$$

**Porcentaje de remoción de DQO = 76,73%**

Basándose en estos resultados, se determinó que la tercera dosificación, que combina el 25% de cloruro férrico con el 1% de polímero catiónico, es la más óptima para el tratamiento de aguas residuales en la PTAR "Las Esclusas". Esta combinación demostró una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes, lo que contribuirá a

mejorar la calidad del agua tratada y garantizar el cumplimiento de los estándares ambientales establecidos.

Los resultados de las pruebas de jarras muestran que la tercera dosificación, fue la más óptima en términos de remoción de contaminantes. Esta dosificación logró el menor tiempo de mezclado durante el proceso de coagulación y floculación, lo que indica un funcionamiento adecuado y eficiente de estos procesos.

Luego de aplicar esta solución al agua residual, se observó una considerable reducción en la concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) a 12,2 mg/l, ocupando el 94,07% de remoción, lo cual es un resultado excelente, y una disminución en la Demanda Química de Oxígeno (DQO) a 74 mg/l, siendo este el 76,73% de remoción. Estos valores muestran una significativa mejora en la calidad del agua tratada.

Con base en estos resultados, se determinó que la dosificación con el 25% de cloruro férrico y el 1% de polímero catiónico es la más idónea para comparar sus resultados con la normativa vigente y los parámetros actuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) "Las Esclusas".

Es importante destacar que estos hallazgos proporcionan una valiosa información para mejorar el proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTAR, asegurando una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes y el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos por las autoridades ambientales. Con esta dosificación óptima, se espera mantener un funcionamiento adecuado y sostenible de la planta, mediante la provisión de agua tratada de alta calidad.

#### **4.1.4. Comparación de los resultados con los parámetros establecidos en la normativa**

**Tabla 33 Comparativa de los parámetros con los límites de descarga TULSMA**

	Unidad	Resultados obtenidos sin ningún químico	Resultados obtenidos en las pruebas aplicando el cloruro férrico y el polímero catiónico	Límites establecidos por la norma TULSMA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/l	206.4	12.23	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	318	74	200

Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

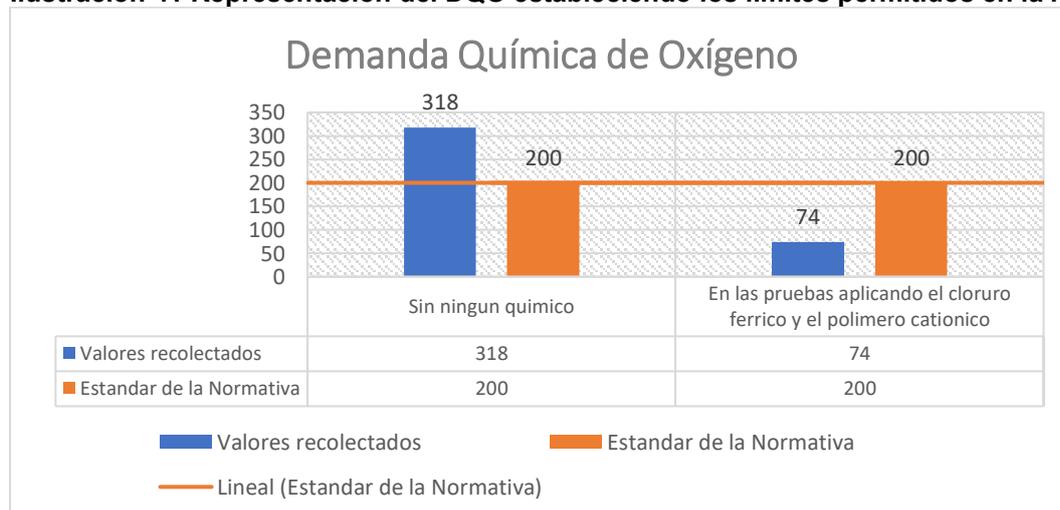
Los resultados obtenidos en la prueba de jarras utilizando el cloruro férrico y el polímero catiónico han demostrado una notable mejora en comparación con los resultados obtenidos sin el uso de ningún químico. La utilización de estos ayudantes de coagulación y floculación ha permitido alcanzar concentraciones de DBO y DQO dentro de los límites establecidos por la normativa, lo que es un indicador positivo de la eficiencia del tratamiento.

Es importante destacar que los valores de DBO y DQO sin el uso de los coagulantes y floculantes superaban los límites establecidos en la Tabla 9 de los límites de descarga de agua dulce del TULSMA. Estos altos niveles de contaminantes en el agua residual representan un riesgo para el medio ambiente y la salud pública si no se tratan adecuadamente.

Sin embargo, al implementar el uso de cloruro férrico y polímero catiónico, se logró reducir significativamente las concentraciones de DBO y DQO, asegurando que el efluente cumpla con los estándares de calidad requeridos por la normativa ambiental.

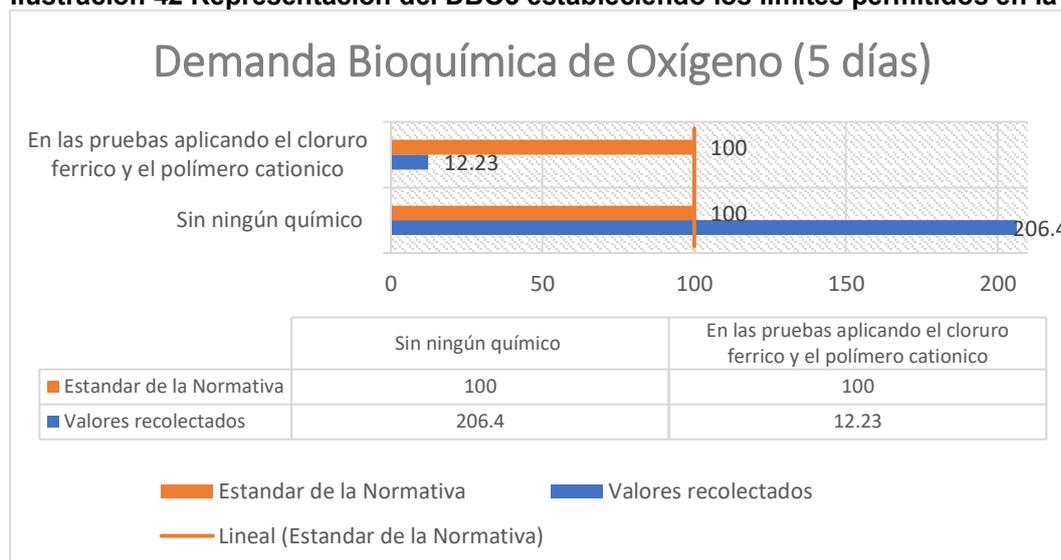
Estos resultados positivos respaldan la viabilidad y eficacia de continuar utilizando los coagulantes y floculantes en el proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTAR "Las Esclusas". El uso de estos químicos ha demostrado ser una opción eficiente y efectiva para mejorar la calidad del agua tratada y cumplir con los estándares establecidos, protegiendo así el medio ambiente y garantizando una adecuada disposición del efluente tratado.

**Ilustración 41 Representación del DQO estableciendo los límites permitidos en la normativa**



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**Ilustración 42 Representación del DBO5 estableciendo los límites permitidos en la normativa**



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**4.1.5. Comparación de los resultados con los datos actuales de la Ptar**

**Tabla 34 Comparativa de los parámetros con obtenidos en la Ptar Las Esclusas**

	Unidad	Resultados obtenidos sin ningún químico	Resultados obtenidos en las pruebas aplicando el cloruro ferrico y el polímero catiónico	Datos obtenidos en la PTAR La Esclusas	Límites establecidos por la norma TULSMA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/l	206.4	12.23	140	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	318	74	94	200

Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

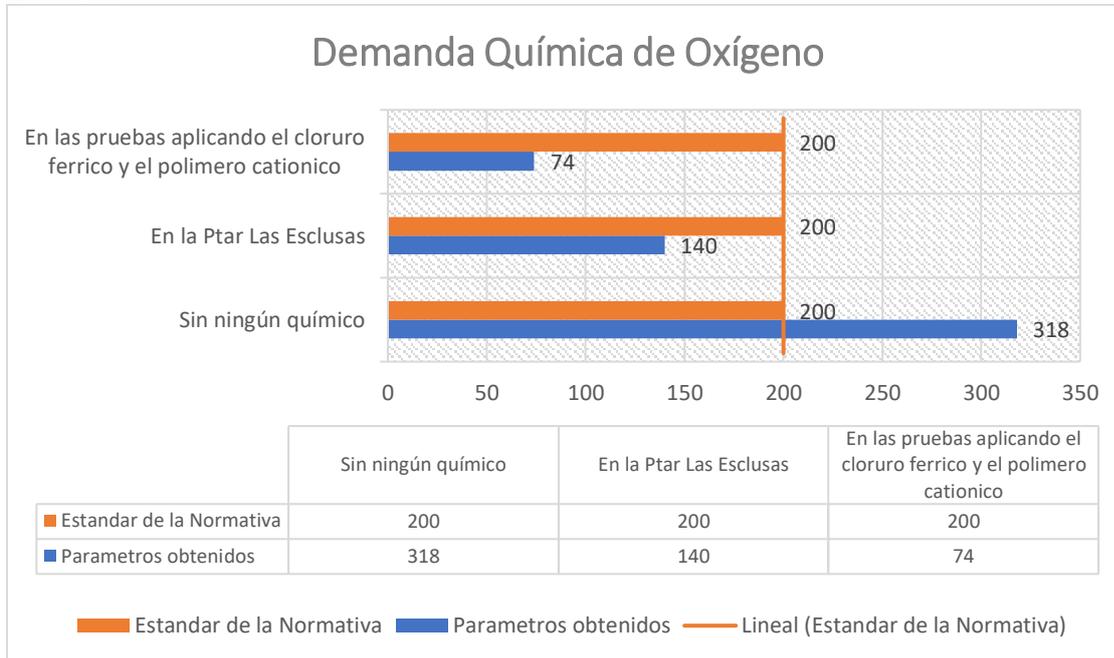
Los resultados de la prueba de jarras con una concentración de cloruro del 25% y de polímero catiónico del 1% son altamente favorables en comparación con los obtenidos en uno de los últimos estudios realizados en la PTAR. A pesar de que ambos estudios utilizaron ayudantes de coagulación y floculación, los resultados actuales muestran una mejora significativa en los parámetros de DBO y DQO.

Es importante destacar que los valores de DBO y DQO obtenidos originalmente en la PTAR excedían ampliamente los límites establecidos en la normativa vigente, lo que representaba un riesgo para el medio ambiente y la salud pública, además de implicar posibles inconvenientes en los procesos y tratamientos dentro de la planta.

Sin embargo, gracias al uso de la concentración adecuada de cloruro y polímero en la prueba de jarras, se ha logrado reducir considerablemente los niveles de DBO y DQO, permitiendo que los parámetros se encuentren dentro de los límites establecidos por la normativa.

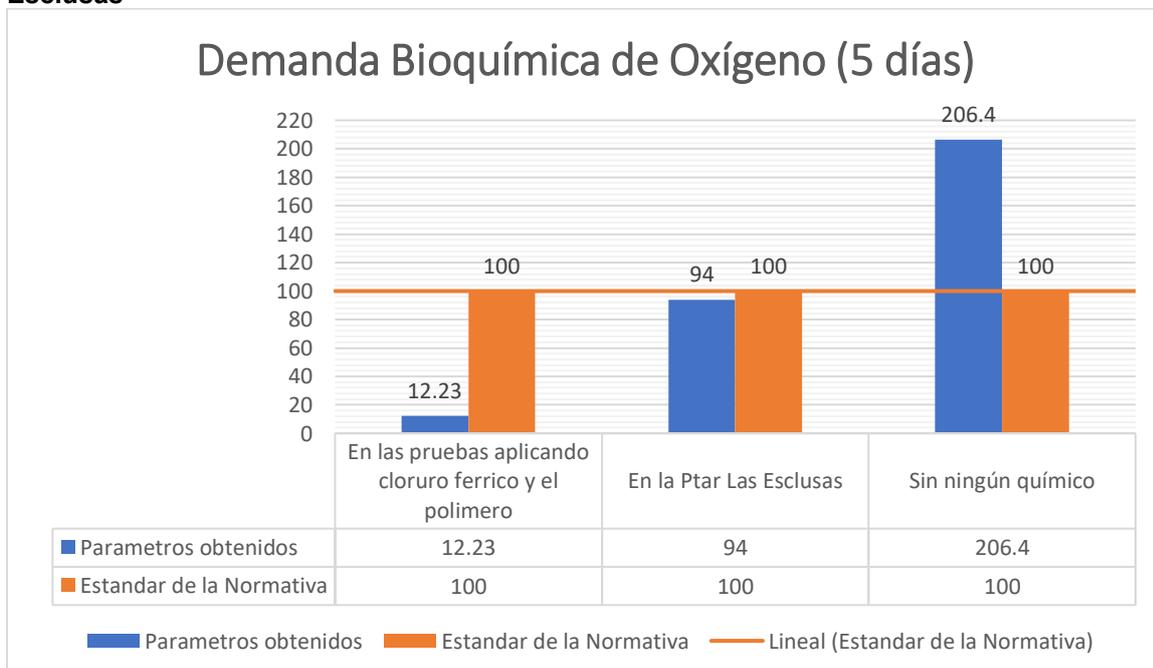
Estos resultados demuestran la importancia de utilizar los coagulantes y floculantes adecuados en el tratamiento de aguas residuales, ya que su correcta dosificación y aplicación pueden marcar una gran diferencia en la calidad del agua tratada y en el cumplimiento de los estándares ambientales.

**Ilustración 43 Representación del DQO en comparativa con los obtenidos en la Ptar Las Esclusas**



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

**Ilustración 44 Representación del DBO5 en comparativa con los obtenidos en la Ptar Las Esclusas**



Elaborado por: Macías, P. & Mazzini, D. (2023)

## 4.2. Propuesta

Basados en los resultados obtenidos en nuestra investigación sobre el rendimiento inicial de la PTAR Las Esclusas, se propone una nueva estrategia para mejorar aún más la remoción de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales. Aunque actualmente la planta cumple con los parámetros establecidos por la normativa y utiliza una concentración de cloruro férrico entre el 20% y 40%, hemos observado que se encuentra muy cerca del límite permitido de descarga.

Por tanto, se sugiere implementar el uso del polímero catiónico como ayudante de floculación y coagulación en combinación con el cloruro férrico. Según nuestros hallazgos, la dosificación de cloruro férrico al 25% junto con el 1% de polímero catiónico demostró ser altamente efectiva en la remoción de DBO y DQO, acercándose significativamente a los valores requeridos por los estándares ambientales.

El polímero catiónico actúa como un excelente agente floculante, facilitando la formación de flóculos más grandes y mejorando la eficiencia del proceso de sedimentación. Al utilizarlo en conjunto con el cloruro férrico, se logra una mayor aglomeración de partículas, lo que resulta en una mayor remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica en el agua residual.

Además de su efectividad en el proceso de tratamiento, el uso del polímero catiónico también puede ofrecer ventajas económicas. La dosificación de este polímero puede ser menor en comparación con otros floculantes, lo que podría traducirse en una reducción de costos para la planta de tratamiento. Asimismo, al mejorar la eficiencia del tratamiento, se podría optimizar el uso de recursos y energía, contribuyendo así a una gestión más sostenible y eficiente.

No obstante, es importante destacar que el uso del polímero catiónico también conlleva algunas consideraciones. Es así que, si se añaden cantidades excesivas de polímero y cloruro férrico al proceso de tratamiento, se desperdiciarían estos reactivos, lo que resultaría en mayores costos operativos. Además, si las dosificaciones no son las adecuadas, la eficiencia del proceso de tratamiento se verá afectada. Esto podría llevar a que no se logre la remoción esperada de contaminantes, lo que resultaría en un efluente que no cumple con los estándares

ambientales requeridos. En este caso, la planta podría enfrentar sanciones o multas por incumplimiento de la normativa, lo que aumentaría aún más los costos.

Un control inadecuado podría llevar a un mayor consumo de recursos, como agua y energía, y a su vez daño a la infraestructura de la planta, como tuberías y equipos, lo que requeriría reparaciones y mantenimiento adicionales, aumentando los costos operativos. Es necesario realizar un seguimiento y monitoreo constante para ajustar adecuadamente la dosificación y evitar sobredosificación, lo que podría afectar negativamente el proceso de tratamiento. Además, es fundamental contar con personal capacitado para manejar y dosificar correctamente el polímero.

Finalmente, la propuesta de implementar el uso polímero catiónico en conjunto con el cloruro férrico representa una mejora significativa en el rendimiento de la PTAR Las Esclusas, permitiendo alcanzar una mayor remoción de contaminantes y acercándose aún más a los estándares ambientales establecidos. Su implementación podría generar beneficios económicos y ambientales, siempre y cuando se realice un manejo adecuado y se realicen ajustes según las necesidades específicas de la planta.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en las pruebas de jarras mostraron un desempeño positivo en la remoción de los parámetros DBO soluble y particulado, y DQO soluble y particulado. La combinación de cloruro férrico y polímero catiónico demostró ser efectiva en la reducción de los niveles de DBO y DQO presentes en el agua residual, lo que contribuye significativamente a mejorar la calidad del efluente tratado.

De este modo, se logró determinar que la dosificación más adecuada para el tratamiento de aguas residuales en la PTAR Las Esclusas es una combinación de cloruro férrico al 25% y polímero catiónico al 1%. Esta dosificación demostró una alta eficiencia en la remoción de contaminantes, logrando resultados favorables en los parámetros de DBO y DQO, y cumpliendo con los estándares establecidos en la normativa ambiental vigente.

En los estudios realizados se compararon con los valores estándares establecidos en el TULSMA. Se comprobó que, al aplicar la dosificación óptima de coagulante y floculante, la PTAR Las Esclusas logró cumplir con los límites de descarga de agua dulce establecidos en la normativa vigente, lo que garantiza un adecuado tratamiento del agua residual antes de su vertido al medio ambiente.

Considerando estos resultados prometedores, el uso de cloruro férrico y polímero catiónico en los procesos de coagulación y floculación se presenta como una alternativa factible y recomendable tanto en el presente como en el futuro para mantener una gestión responsable y sostenible de las aguas residuales en la ciudad de Guayaquil.

En conclusión, la evaluación del rendimiento inicial de la PTAR Las Esclusas arrojó resultados satisfactorios al definir una dosificación óptima de cloruro férrico y polímero catiónico, logrando altos rendimientos de remoción de DBO y DQO y cumpliendo con los estándares ambientales establecidos. Estos hallazgos son de gran relevancia para mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales, proteger el medio ambiente y asegurar la disponibilidad de agua limpia y segura para la comunidad. Además, esta investigación sienta las bases para futuros estudios y contribuye al avance del conocimiento en el campo del tratamiento de aguas residuales.

## RECOMENDACIONES

Basándose en los resultados de las pruebas de jarras, se recomienda que la empresa EMAPAG implemente la combinación de cloruro férrico al 25% y el polímero catiónico al 1%. Esta dosificación demostró ser la más eficiente en la remoción de contaminantes y mejora de la calidad del agua tratada. Se sugiere seguir monitoreando periódicamente los resultados para asegurar su eficacia a lo largo del tiempo.

Es importante que EMAPAG mantenga un estricto cumplimiento de las normativas y estándares ambientales establecidos por las autoridades competentes. Los resultados obtenidos en la evaluación del rendimiento inicial de la PTAR deben ser considerados como una guía para asegurar que los parámetros de calidad del agua en el efluente se mantengan dentro de los límites permitidos.

Los resultados de la investigación deben servir como un recordatorio de la importancia del tratamiento adecuado de aguas residuales para proteger el medio ambiente y garantizar la disponibilidad de agua limpia y segura para la población. Se alienta a la sociedad en general a tomar conciencia sobre el impacto de sus acciones en el agua y a promover prácticas sostenibles en el uso y disposición del recurso hídrico.

La institución educativa puede aprovechar los resultados de esta investigación para fortalecer la formación académica en temas relacionados con el tratamiento de aguas residuales. Se sugiere que se promueva la investigación y se fomente la participación de estudiantes en estudios similares, contribuyendo así al desarrollo de soluciones innovadoras en el campo del tratamiento de aguas.

Por otro lado, este estudio abre oportunidades para investigaciones posteriores que puedan profundizar en aspectos específicos del tratamiento de aguas residuales. Se alienta a futuros investigadores a explorar otros coagulantes, floculantes y tecnologías avanzadas para mejorar aún más el rendimiento de la PTAR y su sostenibilidad ambiental.

Se recomienda que los investigadores compartan sus hallazgos y conocimientos en foros académicos y científicos, así como con las instituciones

pertinentes y la comunidad en general. El intercambio de información enriquecerá el campo del tratamiento de aguas residuales y fomentará el desarrollo de soluciones más efectivas y sostenibles.

## Bibliografía

Acuatecnica SAS. (15 de Mayo de 2018). *Tratamiento Primario de Aguas Residuales*. Recuperado Abril de 2023, de Acuatecnica SAS: <https://acuatecnica.com/tratamiento-primario-aguas-residuales/>

Aerzen. (s.f.). *Los Procesos Básicos del Tratamiento de las Aguas Residuales*. Recuperado Abril de 2023, de Aerzen: <https://www.aerzen.com/es/aplicaciones/agua-y-tratamiento-de-aguas-residuales/asesoramiento-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales/procesos-del-tratamiento-de-las-aguas-residuales.html>

Agencia de Regulacion y Control del Agua [ARCA]. (29 de Octubre de 2018). *Normativa Para Evaluación De Los Servicios Públicos De Agua Potable*. Recuperado 4 de Febrero de 2023, de Agencia de Regulacion y Control del Agua | ARCA: <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/11/NORMATIVA-PARA-EVALUACION-DE-LOS-SERVICIOS-P%C3%9ABLICOS-DE-AGUA-POTABLE....pdf>

Agencia Estatal de Meteorología y Oficina Española de Cambio Climático. (16 de Septiembre de 2018). *Antropogénico*. Recuperado 2023, de Moodii: <https://modii.org/antropogenico/>

Agua, Energía y Medioambiente Servicios Integrales S.L.U. (AEMA). (5 de Abril de 2019). *Tratamiento de aguas residuales con tecnología anaerobia en el sector de conservas vegetales: Ventajas del sistema Biotim®UASB frente al IC*. Recuperado Mayo de 2023, de Aguasresiduales.info: <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/tratamiento-de-aguas-residuales-con-tecnologia-anaerobia-en-el-sector-de-conservas-vegetales-ventajas-del-sistema-biotimuasb-frente-al-ic>

Aguas Residuales.Info. (Mayo de 2021). *Influencia de la adición de Cloruro Férrico en la sedimentabilidad de los fangos activados*. (Aguasresiduales.info, Editor) Recuperado Junio de 2023, de Aguas Residuales.Info: <https://www.aguasresiduales.info/idi/tesis-doctorales/influencia-de-la-adicion-de-cloruro-ferrico-en-la-sedimentabilidad-de-los-fangos->



- Bembibre, C. (2018). *Definición de Aerobio*. Recuperado 2023, de Defincion ABC: <https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/aerobio.php>
- Benítez, D. E. (13 de Diciembre de 2020). *Skimmer*. Recuperado 2023, de Diccionario Abierto y colaborativo en Español: <https://www.significadode.org/skimmer.htm>
- Bhave, P., Naik, S., & Salunkhe, S. (06 de febrero de 2020). *Performance Evaluation of Wastewater Treatment Plant*. Recuperado 02 de marzo de 2023, de SpringerLink: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41101-020-00081-x>
- Bio Azul. (17 de Enero de 2023). *Sbr – Reactor Discontinuo Secuencial*. Recuperado 2023, de Bio Azul: <https://www.bioazul.com/tecnologias-y-productos/sbr-reactor-discontinuo-secuencial/>
- Bioenergy, G. (25 de Febrero de 2018). *¿Qué es el biogás y cómo se aprovecha?* Recuperado 2023, de Genia Bioenergy: <https://geniabioenergy.com/que-es-el-biogas-y-como-se-aprovecha/>
- Biogás. (8 de Agosto de 2017). *Fases de la digestión anaeróbica*. Recuperado 2023, de Biodigestores - Planta de Biogás - Generadores - Energía: <https://www.aqualimpia.com/digestion-anaerobica/>
- Boris, T. (31 de Agosto de 2021). *Tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Recuperado 2023, de Ingeniería Ambiental: <https://ingenieriaambiental.net/tipos-de-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales/>
- Borrás, C. (6 de Julio de 2022). *Qué es la eutrofización: definición y características*. Recuperado Julio de 2023, de Ecología verde: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-eutrofizacion-definicion-y-caracteristicas-34.html>
- Boss Tech. (9 de Mayo de 2022). *4 tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Recuperado 2023, de Boss Tech: <https://bosstech.pe/tipos-plantas-tratamiento-aguas-residuales/>

- Cahesa S.A. Industria Química. (2 de Noviembre de 2020). *Polielectrolitos como auxiliares de coagulación*. Recuperado 2023, de Cahesa S.A. Industria Química: <https://cahesa.com/detalle-novedades.php?id=31>
- Campo Chapeña, M., & Tobar Olave, C. (2011). *Evaluación de la Dosificación de Cloruro Férrico para el Tratamiento Primario Avanzado del Agua Residual Doméstica Afluente a la Ptar-Cañaveralejo*. Recuperado Octubre de 2022, de Universidad del Valle: [file:///C:/Users/ZBOOK%20HP/Downloads/TesisCampo-Tobar\\_2011\\_.pdf](file:///C:/Users/ZBOOK%20HP/Downloads/TesisCampo-Tobar_2011_.pdf)
- Cañon Zambrano , J. D. (2005). *Determinación del coeficiente de degradación de materia orgánica carbonacea en rios de montaña*. Recuperado Junio de 2023, de Repositorio Universidad de los Andes: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/9187/u275509.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castellet, L., & Molinos Senante, M. (1 de Febrero de 2016). *Efficiency assessment of wastewater treatment plants: A data envelopment analysis approach integrating technical, economic, and environmental issues*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.037>
- Chagnon, F., & F. Harleman, D. (2018). *An Introduction to Chemically Enhanced Primary Treatment*. Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering. Massachusetts: Emeritus. Recuperado Mayo de 2023, de [http://news.cleartheair.org.hk/wp-content/uploads/2013/09/Introduction\\_to\\_CEPT.pdf](http://news.cleartheair.org.hk/wp-content/uploads/2013/09/Introduction_to_CEPT.pdf)
- Chen, B., & Yang, J. (1 de Mayo de 2021). *Energy efficiency evaluation of wastewater treatment plants (WWTPs) based on data envelopment analysis*. (Elsevier, Ed.) <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116680>
- Collaguazo Morocho, M., & Espin Ledesma, J. (2022). *Estudio sobre humedales artificiales para la depuración de aguas residuales domésticas usando Phragmites Australis carrizo como planta asequible del sector San José-La Troncal*. Recuperado Abril de 2023, de Repositorio Digital ULVR: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5356>

- Concentrol. (9 de Diciembre de 2020). *Antiespumantes para el tratamiento de aguas residuales*. Recuperado 2023, de Concentrol: <https://concentrol.com/es/antiespumantes-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales/>
- Condorchem Envitech. (17 de Abril de 2023). *Tratamiento de aguas residuales biológicas*. Recuperado Mayo de 2023, de Condorchem Envitech: <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-biologico-de-aguas-residuales/>
- Constitución del Ecuador. (20 de Octubre de 2008). *Constitución del Ecuador (2008)*. Recuperado 31 de Enero de 2023, de ACNUR: <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2008/6716.pdf>
- Contyquim. (5 de Abril de 2022). *Coagulante y floculante en el tratamiento de aguas*. Recuperado Junio de 2023, de Contyquim: <https://contyquim.com/blog/coagulante-y-floculante-en-el-tratamiento-de-aguas>
- Contyquim. (23 de Marzo de 2022). *El coagulante en el tratamiento de aguas*. Recuperado 2023, de Contyquim: <https://contyquim.com/blog/el-coagulante-en-el-tratamiento-de-aguas>
- Costas, G. (14 de Abril de 2019). *Fitoplancton*. Recuperado Julio de 2023, de Ciencia-Biología.com: <https://cienciaybiologia.com/fitoplancton/>
- Crittenden, J. C., Rhodes Trussell, R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's Water Treatment: Principles and Design, 3rd Edition*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781118131473>
- Cyclus. (30 de Enero de 2012). *Pretratamiento*. Recuperado Abril de 2023, de Cyclus: <https://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/pretratamiento/>
- Dearmas Duarte, D., & Ramírez Hernández, L. F. (2015). *Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia*. Recuperado Noviembre de 2022, de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5628793>

Dian. (25 de Enero de 2013). *Clasificación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales*. Recuperado Abril de 2023, de Dian: <http://clarancelariasolcomex.blogspot.com/p/dian-clasificacion-de-una-planta-de.html>

Ebrahimi, M., Gerber, E. L., & Rockaway, T. D. (15 de Mayo de 2017). *Temporal performance assessment of wastewater treatment plants by using multivariate statistical analysis*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.027>

EMAPAG-EP. (s.f.). *EMAPAG-EP PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "LAS ESCLUSAS"*. Recuperado 2023, de EMAPAG-EP: <https://www.emapag-ep.gob.ec/emapag/wp-content/uploads/2015/02/descripciongeneralproyecto1.pdf>

Feria Díaz, J. J., Bermúdez Roa, S., & Estrada Tordecilla, A. M. (16 de Junio de 2014). *Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú*. Recuperado 2022, de Scielo: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552014000100001#:~:text=Conclusi%C3%B3n](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552014000100001#:~:text=Conclusi%C3%B3n)

Filtec. (27 de Agosto de 2013). *Guía de los procesos biológicos aerobios*. Recuperado Junio de 2023, de Filtec: [https://www.depuradoras.es/blog/74\\_guia-de-los-procesos-biologicos-aerobios](https://www.depuradoras.es/blog/74_guia-de-los-procesos-biologicos-aerobios)

Gardner, M., Vera Jones, Comber, S., Scrimshaw, M. D., Coello Garcia, T., Cartmell, E., . . . Ellor, B. (1 de Julio de 2013). *Performance of UK wastewater treatment works with respect to trace contaminants*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.088>

GC Tratamiento. (2019). *¿Qué Es Una PTAR YCuál Es Su Importancia?* Recuperado Julio de 2023, de GC Tratamiento: <https://gctratamiento.mx/que-es-una-ptar/>

Gil, M. (12 de Noviembre de 2021). *¿Cómo diseñar y formar un buen floc?* Recuperado Julio de 2023, de Iagua: <https://www.iagua.es/blogs/mauricio-gil/como-disenar-y-formar-buen->



- Industriapedia. (2022). *Qué es Eliminador de oxígeno*. Recuperado Mayo de 2023, de Industriapedia: <https://industriapedia.com/que-es-eliminador-de-oxigeno/>
- Ingeniería Liquid Technologies. (Julio de 2018). *Floculantes para Aguas Residuales*. Recuperado 2023, de Ingeniería Liquid Technologies: <https://floculantes.com/floculantes-para-aguas-residuales>
- Ingeoexperto. (14 de Noviembre de 2020). *Tratamientos físicos en las tecnologías de depuración de aguas residuales*. Recuperado Abril de 2023, de Ingeoexperto: <https://ingeoexpert.com/articulo/tratamientos-fisicos-las-tecnologias-depuracion-aguas-residuales/>
- Krishnan, R. Y., Manikandan, S., Subbaiya , R., Biruntha, M., Govarthanan, M., & Karmegam, N. (Agosto de 2021). *Removal of emerging micropollutants originating de pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in water and wastewater by advanced oxidation processes: A review*. (Elsevier, Ed.) <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101757>
- Lander Rodríguez , D. J. (18 de Diciembre de 2020). *El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergentes*. Recuperado Abril de 2023, de iAqua: <https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>
- Lenntech. (2018). *Que es la desinfección del agua*. Recuperado 2023, de Lenntech: <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/que-es-desinfeccion.htm>
- Lenntech. (2018). *Que es la desinfección del agua*. Recuperado 2023, de Lenntech: <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/que-es-desinfeccion.htm>
- Ley Orgánica De Recursos Hídricos Usos Y Aprovechamiento Del Agua. (5 de Agosto de 2014). *Ley Orgánica De Recursos Hídricos Usos Y Aprovechamiento Del Agua*. Recuperado 1 de Febrero de 2023, de Agencia de Regulacion y Control del Agua | ARCA: <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>

- Liplata. (30 de Junio de 2021). *Tratamiento De Agua: Productos Químicos Que Se Utilizan*. Recuperado 2023, de Liplata: <https://www.liplata.com/tratamiento-de-agua-productos-quimicos-que-se-utilizan/>
- Macario Mendoza, P. A., Hernández Mendoza, T. M., Cordova Barrios, I. C., & Velarde, R. G. (4 de Mayo de 2021). Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante reactor anaerobio para la reutilización del efluente en cultivos agrícolas. *ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agrónomicas y Veterinarias*, 5(14), págs. 250-261. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.114>
- Menéndez Gutiérrez , C., & Dueñas Moreno, J. (3 de Setiembre de 2018). *Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales*. Recuperado Mayo de 2023, de Ingeniería Hidráulica y Ambiental: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v39n3/1680-0338-riha-39-03-97.pdf>
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización* (3 ed., Vol. 2). (A. G. Brage, Ed., J. D. Trillo Montsoriu, & I. Trillo Fox , Trad.) Fernández, España: McGraw-Hill. <https://doi.org/8448116070>
- Miraplas. (15 de Mayo de 2017). *OXIDACIÓN PROLONGADA CON ANÓXICO (OPANOX)*. Miraplas: <http://www.miraplas.com/productos/depuracion-biologica/oxidacion-prolongada-anoxico/>
- Molinos Senante, M., Gémar, G., Gómez, T., Caballero, R., & Sala Garrido, R. (20 de Noviembre de 2016). *Eco-efficiency assessment of wastewater treatment plants using a weighted Russell directional distance model*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.057>
- Morales Fiallos, F., & Altamirano Nuñez, J. (1 de Marzo de 2023). *Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del sector Quebrada Callate de la parroquia Presidente Urbina del cantón Santiago de Pillaro de la provincia de Tungurahua*. (C. d. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ed.) Recuperado Mayo de 2023, de Repositorio Digital de la Universidad Técnica de Amabato: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/38022>

- Morant Carmona, J. F. (2017). *Análisis de las Fracciones de Dqo en las Aguas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)*. Recuperado Enero de 2023, de Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD): <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/12223/98494403.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moreira Veliz, A., & Macías Choez, M. (2018). *Estudio del comportamiento del DBO en humedal artificial para tratar agua residual proveniente de baños, lavadoras y fregaderos*. Recuperado Abril de 2023, de Repositorio Digital ULVR: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/2261>
- Muñoz, A. S. (Diciembre de 2016). *An Introduction to Chemically Enhanced Primary Treatment*. Recuperado Mayo de 2023, de An Introduction to Chemically Enhanced Primary Treatment: [https://www.sleigh-munoz.co.uk/wash/Sewerage/articles/Introduction\\_to\\_CEPT.pdf](https://www.sleigh-munoz.co.uk/wash/Sewerage/articles/Introduction_to_CEPT.pdf)
- Muszyński Huhajło, M., Miodoński, S., & Rucka, K. (01 de Julio de 2018). *Chemically Assisted Primary Sedimentation as a tool to improve energy balance of a large wastewater treatment plant*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184400120>
- Newhart, K. B., Holloway, R. W., Hering, A. S., & Cath, T. Y. (2019). *Data-driven performance analyses of wastewater treatment plants: A review*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.03.030>
- Ochoa, S. (2017). *Tratamiento de aguas residuales mediante oxidación húmeda*. Recuperado 2023, de Universidad Complutense Madrid: <https://www.ucm.es/otri/complutransfer-tratamiento-de-aguas-residuales-mediante-oxidacion-humeda>
- Ospina, A. L. (2020). *Análisis del arranque, estabilización y operación de una PTAR, evaluando el diseño de los múltiples de distribución del agua residual*. Recuperado 2022, de Repositorio Institucional Universidad de Antioquia: <https://hdl.handle.net/10495/16739>

Pérez Porto, J., & Merino, M. (24 de Julio de 2017). *Anaerobio*. Recuperado 2023, de Definicion.De: <https://definicion.de/anaerobio/>

Plaut, J. R. (17 de Noviembre de 2020). *Anóxico*. Recuperado 2023, de Diccionario Abierto y colaborativo de Español: <https://www.significadode.org/an%C3%B3xico.htm>

Produalipac. (18 de Enero de 2020). *Sulfato de Aluminio*. Recuperado Junio de 2023, de Produalipac: <https://produalipac.com/agroindustria/sulfato-de-aluminio/>

Rashid, K. H., & Khadom, A. A. (17 de Febrero de 2020). *Sodium sulfite as an oxygen scavenger for the corrosion control of mild steel in petroleum refinery wastewater: optimization, mathematical modeling, surface morphology and reaction kinetics studies*. Springer Link: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11144-020-01738-3>

R-Chemical. (2016). *La Prueba de Jarras en una Planta de Tratamiento de Agua Potable*. Recuperado Junio de 2023, de R-Chemical: <http://www.r-chemical.com/la-prueba-de-jarras-en-una-planta-de-tratamiento-de-agua-potable/>

Reglamento Ley Recursos Hídricos Usos Y Aprovechamiento Del Agua. (20 de Abril de 2015). *Reglamento Ley Recursos Hídricos Usos Y Aprovechamiento Del Agua*. Recuperado 4 de Febrero de 2023, de Agencia de Regulacion y Control del Agua | ARCA: <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Reglamento-a-la-LORHUyA.pdf>

Resolució n NO. ARCA-DE-007-2018. (2018). *Resolució n NO. ARCA-DE-007-2018*. Recuperado 4 de Febrero de 2023, de Agencia de Regulacion y Control del Agua | ARCA: <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/11/RESOLUCION-NRO-ARCA-DE-007-2018.pdf>

Riaño Henao, C. A., & Larrea Serna, O. L. (2019). Análisis envolvente de datos y sus aplicaciones en sostenibilidad. *Revista Ingeniare*, 1(3), 10. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.31.8934>

- Rodríguez, D. J. (10 de Abril de 2018). *Tratamiento de aguas residuales: Elemento necesario en una economía circular*. Recuperado Julio de 2023, de BancoMundial.org: <https://blogs.worldbank.org/es/voices/tratamiento-de-aguas-residuales-elemento-necesario-en-una-economia-circular>
- Rodríguez, Y., Gutiérrez, E., Caldera, Y., & Oñate, H. (26 de Julio de 2020). *Eficiencia del sulfato de aluminio durante el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola*. Recuperado Junio de 2023, de Repositorio Universidad del Zulia, Núcleo COL: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/impacto/article/view/33214>
- Salas, J. J. (24 de Abril de 2020). *Nociones básicas sobre la desinfección de las aguas residuales en tiempos convulsos*. Recuperado 2023, de iAgua: <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/nociones-basicas-desinfeccion-aguas-residuales-tiempos-convulsos-0>
- SAM. (12 de Enero de 2016). *Qué es el proceso de lodos activados*. Recuperado 2023, de Soluciones Medioambientales y Aguas, S.A: <https://www.smasa.net/proceso-lodos-activados/>
- Seo Simple. (28 de Marzo de 2023). *¿Qué son los floculantes?* Recuperado Abril de 2023, de Pochteca Ecuador: <https://ecuador.pochteca.net/que-son-los-floculantes/>
- Siguiente*. (s.f.). Nihon Kasettsu: <https://nihonkasettsu.com/es/dbo-y-dqo-para-caracterizar-aguas-residuales/>
- Singh, A., Sawant, M., Kamble, S. J., Herlekar, M., Starkl, M., Aymerich, E., & Kazmi, A. (22 de Mayo de 2019). *Performance evaluation of a decentralized wastewater treatment system in India*. (E. S. Research, Ed.) <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11356-019-05444-z>
- Spena Group. (2 de Septiembre de 2021). *Sistemas y Soluciones para cada Tipo de Tratamiento de Aguas Residuales*. Recuperado Abril de 2023, de Spena Group: <https://spenagroup.com/tipos-tratamiento-agua-aguas-residuales/>

SSTP. (2018). *Reactor Aerobio de lecho fijo*. Recuperado 2023, de SSTP: <http://sstp.mx/web/reactor-secuencial-de-lecho-fijo/>

Struk Sokolowska, J., Miodonski, S., Muszyński Huhajło, M., Janiak, K., Ofman, P., Mielcarek, A., & Rodziewicz, J. (5 de Octubre de 2020). *Impact of differences in speciation of organic compounds in wastewater de large WWTPs on technological parameters, economic efficiency and modelling of chemically assisted primary sedimentation process*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104405>

Suez. (12 de Junio de 2015). *Descubre la primera planta de tratamiento de aguas residuales de carbono neutral en el mundo construida por Suez*. Recuperado Abril de 2023, de iAgua: <https://www.iagua.es/noticias/videos/14/02/05/descubre-la-primera-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-de-carbono-neutral-en-el-mundo-constru-44>

Taboada Santos, A., Rivadulla, E., Paredes, L., Carballa, M., Romalde, J., & M Lema, J. (1 de Febrero de 2020). *Comprehensive comparison of chemically enhanced primary treatment and high-rate activated sludge in novel wastewater treatment plant configurations*. (Elsevier, Ed.) <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115258>

Tavares, R. (2 de Abril de 2013). *Foto-Fenton solar*. Recuperado 2023, de Madrid Blogs: <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/04/02/131873>

Telwesa. (2022). *Tipos de tratamientos biológicos para aguas residuales*. Recuperado Abril de 2023, de Telwesa: <https://telwesa.com/tipos-de-tratamientos-biologicos-para-aguas-residuales/>

Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente [TULSMA]. (4 de Noviembre de 2015). *Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente*. Recuperado 4 de Febrero de 2023, de Ecuador - Guia Oficial de Tramites y Servicios: [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015\\_0.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf)

Todo en polímeros. (29 de Mayo de 2017). *Hidrólisis*. Recuperado 2023, de WordPress.com: <https://todoenpolimeros.com/2017/05/29/hidrolisis/>

Torregrossa, D., Hansen, J., Hernández Sancho, F., Cornelissen, A., Schutz, G., & Leopold, U. (15 de Diciembre de 2017). *A data-driven methodology to support pump performance analysis and energy efficiency optimization in Waste Water Treatment Plants*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.012>

Torres, P. (Diciembre de 2012). Perspectivas Del Tratamiento Anaerobio De Aguas Residuales Domésticas En Países En Desarrollo. *Revista EIA*(18), 115-129. Recuperado Mayo de 2023, de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n18/n18a10.pdf>

ULVR. (s.f.). *ULVR — Descripción de proyecto de investigación*. Recuperado 2022, de ULVR: <https://www.ulvr.edu.ec/academico/unidad-de-titulacion/proyecto-de-investigacion>

Universidad Militar Nueva Granada. (Junio de 2020). *Microorganismos hidrolíticos, fermentativos, acetogénicos y metanogénicos*. Recuperado 2023, de Facultad de estudios a distancia UMNG: [http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/ingenieria\\_civil/tratamiento\\_biologico\\_de\\_aguas/unidad\\_3/medios/documentacion/p5h4.php](http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/ingenieria_civil/tratamiento_biologico_de_aguas/unidad_3/medios/documentacion/p5h4.php)

Valdivieso, A. (6 de Octubre de 2020). *¿Qué es un sistema de lodos activados?* Recuperado 2023, de iAgua: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-sistema-lodos-activados>

Valdivieso, A. (6 de Octubre de 2020). *¿Qué es un tratamiento terciario de aguas residuales?* Recuperado 2023, de iAgua: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-tratamiento-terciario-aguas-residuales>

Vel International Chemicals. (2018). *Cuales son los Coagulantes mas usados en una Ptar*. Recuperado 2023, de Vel International Chemicals: <https://vel-chemicals.com/cuales-son-los-coagulantes-mas-usados-en-una-ptar/>

- Veolia. (2023). *Pretratamiento del agua*. Recuperado Junio de 2023, de Water Pretreatment: <https://www.veoliawatertechnologies.com/latam/es/aplicaciones/pretratamiento-de-agua>
- Verlek. (28 de Febrero de 2019). *REMOCION DE METALES EN AGUAS RESIDUALES MEDIANTE PRECIPITACIÓN QUÍMICA*. Recuperado 2023, de Verlek Industria y Quimica - Teconología para control ambiental: <https://verlek.com/2019/02/28/coagulacion-floculacion-2/>
- Wang, D., Guo, F., Wu, Y., Li, Z., & Wu, G. (1 de Enero de 2018). *Technical, economic and environmental assessment of coagulation/filtration tertiary treatment processes in full-scale wastewater treatment plants*. (Elsevier, Ed.) <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.231>
- Water Foundation. (22 de Marzo de 2017). *Aguas negras, el rastro de nuestra historia*. We Are Water Foundation: [https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia\\_281141](https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia_281141)
- Water Technologies. (2019). *Tratamiento de aguas residuales*. Recuperado 2023, de Water Technologies: <https://tratamientodeaguasresiduales.net/tipos/>
- Webmaster. (27 de Agosto de 2021). *¿Qué son las aguas residuales domésticas?* Recuperado Mayo de 2023, de Boss Tech: <https://bosstech.pe/que-son-aguas-residuales-domesticas/>
- Wentzel, M. C., Mbewe, A., Lakay, M. T., & Ekama, G. A. (3 de Julio de 1999). *Batch test for characterisation of the carbonaceous materials*. Recuperado Enero de 2023, de Water Research Group: [https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/WaterSA\\_1999\\_03\\_jul99\\_p327.pdf](https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/WaterSA_1999_03_jul99_p327.pdf)
- World Health Organization . (21 de Marzo de 2022). *Saneamiento*. Recuperado Marzo de 2023, de World Health Organization : <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>

Zarza, L. F. (6 de Octubre de 2020). *¿Qué son las aguas residuales?* Recuperado  
Abril de 2023, de iAgua: <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>

## ANEXOS

### Anexo 1 Carta dirigida a EMAPAG para acceso a la PTAR Las Esclusas



Universidad Laica  
VICENTE ROCAFUERTE  
de Guayaquil

EMAPAG - EP  
SECRETARIA GENERAL  
Fecha: 07-06-23 Hora: 08:21  
**RECIBIDO**

11-3630

#### FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

Guayaquil, 7 de junio del 2023

Economista

**Manuel Nogales y Platón**

Gerente General

Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil EMAPAG-EP En su despacho. -

De mis consideraciones:

Quienes conformamos la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción, de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, solicitamos a ustedes su apertura y facilidades para que nuestros estudiantes de 10mo semestre: Pedro Abraham Macías Suárez y Diana Noemi Mazzini Morán, puedan realizar su Tesis de investigación.

Para proseguir con dicha Tesis, se requiere de parte de EMAPAG EP, la facilidad para que accedan a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales conocida como PTAR las Esclusas, con el fin de poder colectar en la cámara de repartición de caudales, un volumen de agua servida para realizar las correspondientes pruebas de jarras, lo cual les va a permitir simular en el laboratorio los procesos de coagulación y floculación y determinación de dosis de insumos químicos, actividades que actualmente se desarrollan en la PTAR antes indicada.

Me suscribo de usted, no sin antes expresarle mis más altos deseos de estima y consideración.

Atentamente,



GENARO RAYMUNDO  
GAIBOR ESPÍN

Mgrt. Genaro Gaibor Espín  
DECANO

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

*Depm / UATH :  
coordinar  
c.c. DRT*

Copia: Ing. Fernando Luzarraga Lucio/Supervisor Ambiental y Auditorías Técnicas/EMAPAG-EP  
Ing. Pablo Paredes Ramos/Supervisor de Calidad de Agua y Efluentes/EMAPAG-EP

## Anexo 2 Programación para la toma de muestras efluentes en la PTAR Las Esclusas

Guayaquil 16 de junio del 2023

OFICIO: DM-002-2023

Ingeniero  
Mauricio Zurita Castro  
Director Unidad Ejecutora de Proyectos Multilaterales  
**EMAPAG-EP**  
Ciudad

**Asunto:** Programación toma de muestras efluentes en PTAR Las Esclusas-trabajo educativo.  
Solicitud de estudiantes de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

**Referencia:** Oficio emitido por Decano de la Facultad con fecha 07-06-2023.

Estimado, reciba cordiales saludos y en concordancia con lo expuesto en documento adjunto por nuestro decano de la facultad Ing. **Genaro Galbor Espín**, relacionado a requerimiento de toma de muestras de efluentes de aguas servidas en el cárcamo de ingreso de la planta de tratamiento Las Esclusas con carácter estrictamente educativo y con aplicación de los correspondientes equipos de seguridad que se requiera en el sitio del proyecto, para realizar ensayos de "pruebas de jarras" que refiere a la inclusión técnica de procesos de coagulación y floculación para ensayar la dosis de insumos químicos y con ello la obtención de un análisis de resultados, a continuación se indica la programación estimada y los participantes para la autorización del acceso correspondiente.

Fecha estimada para la toma de muestras: *martes 20 de junio 2023*

Participantes (solicitud de accesos):

*Diana Noemí Mazzini Morán (estudiante), C.I 0955924055.*

*Pedro Abraham Macías Suárez (estudiante), C.I 0951910199.*

*Leonardo Vicente Gallegos (Muestreador), C.I. 0909449381.*

Quedamos muy agradecidos por todo su apoyo y le auguramos muchos éxitos en sus delicadas funciones.

Atentamente,

**Diana Mazzini Morán,**

CI - 0955924055

**Pedro Macías Suárez,**

CI - 0951910199

CC: Ing. Genaro Galbor Espín, MSc. - Decano de Facultad Universidad Laica Vicente Rocafuerte  
Ing. Pablo Paredes Ramos, - Supervisor de Calidad de agua y Efluentes/EMAPAG-EP  
Ing. Fernando Luzarraga Lucio, - Supervisor Ambiental y Auditorías Técnicas/EMAPAG-EP

Adjunto: Oficio de la referencia.

**EMAPAG - EP**  
UNIDAD EJECUTORA  
DE PROYECTOS MULTILATERALES  
FECHA: 16/06/23 HORA: 3:46  
**RECIBIDO**

### Anexo 3 Carta de aceptación para acceder a la PTAR Las Esclusas

Guayaquil, 19 de junio de 2023

Estimado.

Doctor Ing. Ruddy Noriega,

Por medio de la presente y de acuerdo a lo solicitado por la EMAPAG, se otorga el permiso, al Sr. PEDRO ABRAHAM MACÍAS SUAREZ con C.I. 0951910199, Srta. DIANA NOHEMI MAZZINI MORAN con C.I. 0955924055 y al Sr. LEONARDO VICENTE GALLEGOS BRIONES (muestreador) con C.I. 0909449381, para ingresar a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Las Esclusas" y tomar las muestras de agua necesarias para las pruebas de jarras que les permita simular en el laboratorio los procesos de coagulación y floculación para determinar dosis de insumos químicos similares a los que actualmente se desarrollan en nuestra planta. Para uso exclusivo en la Tesis de Grado de los referidos alumnos de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. La fecha estimada para el ingreso de los estudiantes corresponde al 20 de junio de 2023.

Lo referidos estudiantes deberán recibir la charla de inducción previo al ingreso de parte de la PTAR para recibir las normas de seguridad que se llevan dentro de la misma, además los estudiantes y el muestreador deberán asistir con su Equipo de Protección Personal. La charla será impartida en el Edificio de Administración.

Muy Apreciado Ing. Ruddy, atender lo solicitado.



Ing. Rafael Menoscal Valarezo  
DIRECTOR DEL PROYECTO  
CONSORCIO PTAR LAS ESCLUSAS - GUAYAQUIL  
Av. Raúl Clemente Huerta (Frente a Termo Guayas)  
PBX: +593 (2)3822-720 Ext. 2803  
Guayaquil - Ecuador  
E-Mail: [rmenoscal@heh.com.ec](mailto:rmenoscal@heh.com.ec)  
Web: [www.heh.com.ec](http://www.heh.com.ec)