



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PROPUESTA DE MEJORAS OPERATIVAS PARA DISMINUIR CARGAS
CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES DE UN TERMINAL PORTUARIO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieros Ambientales

Autores:

Ruth Anette Barrera Játiva

Francisco Andrés Carchi Caicedo

Tutor:

Ingeniero Virgilio Alonso Ordoñez Ramírez, PhD.

Guayaquil – Ecuador

2026

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, **Ruth Anette Barrera Játiva** con documento de identificación No. **0958323834** y **Francisco Andrés Carchi Caicedo** con documento de identificación No. **0941749376**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 26 de febrero del 2026

Atentamente,



Ruth Anette Barrera Játiva

C.C No.: 0958323834



Francisco Andrés Carchi Caicedo

C.C No.: 0941749376

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORES DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Ruth Anette Barrera Játiva** con documento de identificación No. **0958323834** y **Francisco Andrés Carchi Caicedo** con documento de identificación No. **0941749376**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo experimental **PROPUESTA DE MEJORAS OPERATIVAS PARA DISMINUIR CARGAS CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES DE UN TERMINAL PORTUARIO**, en el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIEROS AMBIENTALES**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de febrero de 2026

Atentamente,

Ruth Anette Barrera Játiva

C.C No.: 0958323834

Francisco Andrés Carchi Caicedo

C.C No.: 0941749376

CERTIFICADO DE DIRECCION DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Virgilio Alonso Ordoñez Ramírez** con documento de identificación No. **0909780850**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación **PROPUESTA DE MEJORAS OPERATIVAS PARA DISMINUIR CARGAS CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES DE UN TERMINAL PORTUARIO**, realizado por **Ruth Anette Barrera Játiva** con documento de identificación No. **0958323834** y **Francisco Andrés Carchi Caicedo** con documento de identificación No. **0941749376**, obtenido como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de febrero de 2026

Atentamente,



Ing. Virgilio Alonso Ordoñez Ramírez, PhD
C.C No. 0909780850

DEDICATORIA

Francisco Carchi

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis padres José Francisco Carchi y Kenya Lorena Caicedo, por ser mi mayor apoyo y fortaleza. Gracias por darme todo, por su amor incondicional, sus enseñanzas y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Este logro también es suyo.

De manera muy especial, a mi compañera de tesis, mi dupla y mi “sí a todo”, Ruth, por su compromiso, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso. Gracias no solo por el trabajo en equipo y el aprendizaje compartido, sino también por su amistad, por estar siempre a mi lado, por el apoyo constante y por hacer de este camino una experiencia más llevadera y significativa.

A mis amigos de toda la vida y a quienes siempre han estado para mí, Anderson, Pedro, Emilio y Steeven, gracias por nunca dejarme solo, por el apoyo incondicional en cada etapa y por esas noches compartidas jugando Fortnite, que se convirtieron en momentos de desconexión, risas y amistad. Gracias, sobre todo, por su lealtad, su compañía constante y por demostrarme con hechos el verdadero valor de la amistad.

Finalmente, y no menos importante, a mis amigos del colegio Xavier, Miguel, Aaron, Andrés, Gabriel, Diego y Luis, quienes a lo largo de tantos años me han acompañado, apoyado y enseñado el verdadero significado de la amistad. Gracias por permanecer y ser parte de mi historia

Ruth Barrera

Dedico esta tesis, en primer lugar, a mis padres, Fanny Játiva Murillo y Julio Barrera Ronquillo, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida y de mi formación personal y profesional. Gracias por su amor incondicional, por cada sacrificio silencioso, por su esfuerzo constante y por creer en mí incluso en los momentos en los que yo dudé. Su apoyo, guía y confianza han sido la base que me permitió llegar hasta aquí; sin ustedes, nada de este logro habría sido posible. Esto es gracias a ustedes

A mi familia Játiva y a mi familia Barrera, por ser familias unidas que siempre me han demostrado su cariño, apoyo e interés genuino por mi bienestar. Su acompañamiento ha sido fundamental en este camino. A mi abuelita Lelia, por creer siempre en mí, en mi talento y en mis capacidades, y por brindarme su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

Dedico también este trabajo a panchito, quien me demostró que, si se pueden crear verdaderas amistades en la universidad, quien en cada tiempo libre salíamos a comer o armábamos cualquier plan, quien fue mi pata toda la etapa universitaria y se volvió muy importante y especial en mi vida, mi mejor dupla en proyectos y trabajos, la persona con la que más he peleado y querido al mismo tiempo, gracias por estar conmigo siempre.

Dedico este trabajo a mis amigas del colegio, Titi, Emily y Nashly, quienes han sido parte fundamental de mi vida por más de diez años. A pesar del paso del tiempo y de los cambios que trae la vida, han permanecido siempre ahí, firmes, presentes y sinceras. Cada salida, cada conversación y cada celebración de mis logros como si fueran propios han hecho que esta etapa sea más ligera y feliz. Nuestra amistad ha crecido con nosotras, por siempre juntas.

AGRADECIMIENTOS

Francisco Carchi

A Dios, por su presencia constante, por darme fortaleza, guía y la oportunidad de culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional.

Al Ing. Virgilio Ordóñez, por su valiosa guía, disposición y aporte de conocimientos, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Gracias por el acompañamiento, la orientación técnica y el compromiso demostrado durante la elaboración del mismo.

De manera especial, a Ruth, por confiar en mí y elegirme como su compañero de tesis, por el trabajo en equipo, el apoyo constante y la responsabilidad compartida, que hicieron posible culminar este proyecto de la mejor manera.

Ruth Barrera

A Dios, por nunca soltar mi mano y caminar conmigo en cada etapa de este proceso. Por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para superar los momentos de cansancio, duda y dificultad. En cada logro alcanzado he sentido Su presencia guiándome, sosteniéndome y recordándome que todo tiene un propósito.

Al Ing. Virgilio, por ser más que un docente: por ser un verdadero mentor. Gracias por su entrega, por compartir sus conocimientos con generosidad y por enseñarme con pasión todo lo que hoy sé sobre el tratamiento de aguas residuales.

A mis papás por dar todo de ellos para apoyarme en mi vida universitaria, por dejar muchas cosas por pagar mis mensualidades, por todas las mañanas que mi papá me iba a dejar embarcada en el bus, por todos los desayunos que me llevaba a la universidad, por siempre llegar en la noche y escuchar la pregunta de mi mamá ¿Cómo te fue hoy en tu día?, gracias por nunca dejar que me sienta sola, y por enseñarme a confiar en Dios cada día que pasaba, y siempre recordaré una frase que quedó marcada en mí, cada día traiga su propio afán, los amo papis, sin ustedes no estaría hoy en donde estoy.

A mi jefa, Ing. Yuliana Aguayo, y a mi jefe, Ing. José Luis Saa, por brindarme la oportunidad de desarrollar mi trabajo de titulación en su empresa. Gracias por la confianza, el apoyo y la apertura para aplicar mis conocimientos en un entorno real.

Gracias a mi compañero de tesis Panchito, por todas esas amanecidas, por siempre apoyarme y ayudarme en la tesis, y juntos poder presentar la tesis que con tanto esfuerzo y cariño la hicimos, por cada pelea y risa, que siempre serán recuerdos inolvidables en nuestras vidas, gracias por todo, panchito y yo, yo y panchito.

INDICE

Capítulo 1	19
1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	19
1.2 Formulación del problema.....	21
1.3 Justificación	22
1.4 Objetivos:.....	22
1.4.1 Objetivo general.....	22
1.4.2 Objetivos específicos.....	23
1.5 Marco Hipotético	23
1.5.1 Hipótesis General	23
1.5.2 Hipótesis Específicas.....	23
Capítulo 2	25
2. MARCO TEÓRICO.....	25
2.1 Aguas residuales	25
2.2 Aguas residuales industriales.....	25
2.3 Aguas residuales industriales en actividades portuarias.....	26
2.4 Contaminantes presentes en aguas residuales industriales portuarias.....	27
2.5 Sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales.....	28
2.6 Trampa de grasas y separadores agua–aceite	29
2.7 Tratabilidad del agua residual.....	29

2.8 Parámetros de calidad del agua.....	29
2.8.1 Color.....	30
2.8.2 pH.....	30
2.8.3 Temperatura.....	31
2.8.4 Oxígeno disuelto.....	31
2.8.5 Turbidez.....	31
2.8.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	32
2.8.7 Demanda química de oxígeno (DQO).....	32
2.8.8 Sólidos disueltos totales.....	32
2.8.9 Sólidos suspendidos totales.....	33
2.8.10 Aceites y grasas.....	33
2.8.11 Tensoactivos.....	33
2.8.12 Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH).....	33
2.9 Marco normativo ambiental aplicable.....	34
2.9.1 Normativa ambiental nacional (Ecuador).....	34
2.9.2 Lineamientos técnicos internacionales aplicables.....	37
Capítulo 3.....	39
3. METODOLOGÍA.....	39
3.1 Tipo de investigación.....	39
3.2 Población y muestra.....	39
3.3 Variables de estudio.....	39

3.3.1 Variables independientes	39
3.3.2 Variables dependientes	39
3.4 Materiales, equipos y reactivos	40
3.5 Etapas del estudio.....	40
3.5.1 Toma de caudal	40
3.5.2 Pruebas de tratabilidad	42
3.5.3 Muestreo	42
3.5.4 Caracterización de la muestra	43
3.5.5 Ensayo de coagulación–floculación (Jar-Test)	49
3.5.6 Ensayo de sedimentación.....	50
3.5.7 Ensayo de filtración o adsorción (pulido físico)	50
3.5.8 Propuesta de optimización y validación técnica	51
3.5.9 Evaluación del desempeño del sistema	51
Capítulo 4	60
4. RESULTADOS.....	60
4.1 Generación de Aguas Residuales en la Unidad de Análisis	60
4.1.1 Actividades de la empresa	60
4.1.2 Descripción de las áreas de la empresa	62
4.1.3 Identificación de actividades que generan agua residual.....	64
4.1.4 Ubicación Geográfica del Área de Generación de Agua Residual	65
4.2 Descripción del Sistema de tratamiento actual	67

4.2.1 Líneas de conducción	67
4.2.2 Sistema de Pretratamiento	68
4.2.3 Evacuación de aguas residuales	69
4.2.4 Diagrama de flujo.....	70
4.3 Caracterización del agua residual	71
4.3.1 Datos de medición y cálculo del caudal	71
4.3.2 Evaluación de las variables.....	73
4.3.3 Parámetros físicos	75
4.3.4 Parámetros químicos	76
4.3.5 Determinación de la Carga Contaminante.....	78
4.4 Tratabilidad del agua.....	81
4.4.1 Capacidad del Sistema Experimental	81
4.4.2 Toma de muestra	81
4.4.3 Tratabilidad del Agua.....	82
4.5 Evaluación del sistema propuesto	85
4.5.1 Caracterización del agua tratada	86
4.5.2 Análisis de los resultados del tratamiento experimental	87
4.5.3 Evaluación de la eficiencia de remoción	96
4.6 Evaluación Operativa	97
4.6.1 Disponibilidad de insumos	98
4.6.2 Simplicidad operativa.....	100

4.6.3 Requerimientos de mantenimiento.....	101
4.7 diagrama de sistema propuesto de tratamiento de aguas residuales	101
4.8 analisis costo beneficio.....	103
4.8.1 Costos de inversión	103
4.8.2 Insumos para dosificación y preparación	105
4.8.3 Costos de operación.....	107
4.8.4 Cálculo del costo anual del sistema de tratamiento actual	110
4.8 Evaluación ambiental	112
4.9 Análisis de riesgos.....	115
Capítulo 5	117
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
5.1.1 Conclusiones	117
5.1.2 Recomendaciones.....	118
6. ANEXOS	120
7.BIBLIOGRAFÍA	130

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 <i>Parámetros para la caracterización del agua</i>	44
Tabla 2 <i>Análisis de riesgo</i>	54
Tabla 3 <i>Tabla para presentar los resultados de la evaluación de análisis de riesgo</i>	54
Tabla 4 <i>Tabla para presentar los resultados de la evaluación de Impacto ambiental</i>	59
Tabla 5 <i>Coordenadas UTM del área de generación de aguas residuales industriales</i>	66
Tabla6 <i>Parámetros físicos agua cruda</i>	76
Tabla7 <i>parámetros químicos agua cruda</i>	77
Tabla 8 <i>Determinación de carga contaminante</i>	80
Tabla9 <i>Pruebas de Test de jarra</i>	84
Tabla10 <i>Parámetros físicos agua tratada</i>	86
Tabla11 <i>parámetros químicos agua tratada</i>	87
Tabla12 <i>Porcentaje de remoción</i>	97
Tabla 13 <i>Costos de inversión</i>	104
Tabla14 <i>Insumos para dosificación y preparación</i>	107
Tabla 15 <i>Costos estimados de reposición de medios filtrantes</i>	108
Tabla 16 <i>Costo estimado de energía eléctrica</i>	109
Tabla 17 <i>Costo estimado de mantenimiento preventivo</i>	109
Tabla 18 <i>Resumen de costos de operación anual del sistema propuesto</i>	111
Tabla 19 <i>Matriz evaluación ambiental</i>	113
Tabla 20 <i>Actividades análisis de riesgo</i>	115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 <i>Vista general del área operativa del Terminal Portuario de Guayaquil</i>	62
Ilustración 2 <i>Ubicación del taller de mantenimiento dentro del Terminal Portuario</i>	67
Ilustración 3 <i>Área de conducción y recolección de aguas residuales hacia la trampa de grasas</i>	68
Ilustración 4 <i>Trampa de grasas del taller de mantenimiento</i>	69
Ilustración 5 <i>Diagrama de flujo del sistema actual de manejo de aguas residuales industriales</i>	70
Ilustración 6 <i>Procedimiento de toma de muestra de agua residual en la trampa de grasas</i> .	82
Ilustración 7 <i>Test de jarra</i>	83
Ilustración 8 <i>Sistema de filtración a escala experimental con lecho de arena</i>	85
Ilustración 9 <i>Reducción de color</i>	88
Ilustración 10 <i>Reducción de turbidez</i>	89
Ilustración 11 <i>Reducción de solidos suspendidos totales</i>	90
Ilustración 12 <i>Reducción de solidos disueltos totales</i>	91
Ilustración 13 <i>Reducción de aceites y grasas</i>	92
Ilustración 14 <i>Reducción de DBO₅</i>	93
Ilustración 15 <i>Reducción de DQO</i>	94
Ilustración 16 <i>Reducción de Tph</i>	95
Ilustración 17 <i>Reducción de tensoactivos</i>	96
Ilustración 18 <i>Diagrama de sistema propuesto</i>	101
Ilustración 19	121
Ilustración 20	122
Ilustración 21	124

Ilustración 22	125
Ilustración 23	125
Ilustración 24	126
Ilustración 25	126
Ilustración 26	127
Ilustración 27	128

RESUMEN

Los terminales portuarios, debido a la intensidad de sus operaciones, generan aguas residuales industriales que pueden presentar cargas contaminantes variables asociadas a actividades de lavado, limpieza y mantenimiento de equipos. En muchos casos, estos efluentes son gestionados mediante sistemas de tratamiento básicos o pretratamientos que, si no son evaluados y optimizados, pueden resultar insuficientes para controlar adecuadamente la calidad del agua residual y cumplir con los límites ambientales establecidos.

La presente investigación se desarrolla en el Terminal Portuario de Guayaquil y tiene como objetivo proponer mejoras operativas orientadas a la disminución de las cargas contaminantes de las aguas residuales industriales generadas en el área de taller de mantenimiento. El estudio se enfoca en el análisis del sistema actual de manejo y tratamiento del efluente, considerando las condiciones reales de operación, la dinámica de generación del agua residual y las características generales del proceso existente.

A partir de esta evaluación, se identifican oportunidades de mejora relacionadas con el control en la fuente, la optimización del pretratamiento, el manejo adecuado de corrientes con contenido oleoso y la estandarización de prácticas operativas. Con base en estos aspectos, se plantea una propuesta técnica que busca mejorar el desempeño del sistema actual, reducir la carga contaminante del efluente y contribuir al cumplimiento de la normativa ambiental vigente, sin requerir modificaciones estructurales complejas ni inversiones desproporcionadas.

ABSTRACT

Due to the intensity of their operations, port terminals generate industrial wastewater that can contain varying levels of pollutants associated with washing, cleaning, and equipment maintenance activities. In many cases, these effluents are managed using basic treatment systems or pretreatment processes that, if not evaluated and optimized, may prove insufficient to adequately control wastewater quality and comply with established environmental limits.

This research was conducted at the Port Terminal of Guayaquil and aims to propose operational improvements to reduce the pollutant loads in the industrial wastewater generated in the maintenance workshop area. The study focuses on analyzing the current effluent management and treatment system, considering actual operating conditions, wastewater generation dynamics, and the general characteristics of the existing process.

Based on this evaluation, opportunities for improvement were identified related to source control, pretreatment optimization, proper management of oily wastewater streams, and the standardization of operational practices. Based on these aspects, a technical proposal is presented that seeks to improve the performance of the current system, reduce the pollutant load of the effluent, and contribute to compliance with current environmental regulations, without requiring complex structural modifications or disproportionate investments.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Los terminales portuarios constituyen infraestructuras estratégicas para el comercio exterior del Ecuador, pero también son fuentes potenciales de contaminación debido a la generación de aguas residuales industriales procedentes de actividades como el lavado de maquinaria pesada, mantenimiento de equipos, abastecimiento de combustibles, limpieza de áreas operativas y manipulación de cargas. Estos procesos generan efluentes con altos contenidos de aceites y grasas, hidrocarburos, detergentes, sólidos suspendidos, metales pesados (como plomo, cromo, zinc y cobre) y compuestos orgánicos persistentes (Metcalf & Eddy, 2014).

Cuando estos efluentes no son tratados o se tratan de manera inadecuada, su descarga al sistema de alcantarillado público, provocan alteraciones significativas en la calidad físico, química y biológica. Estas alteraciones incluyen disminución del oxígeno disuelto, incremento de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno), turbidez, cambios de pH (Potencial de Hidrogeno), bioacumulación de metales y afectación a especies acuáticas, lo que repercute en la salud humana y en la sostenibilidad de las actividades pesqueras y turísticas (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2024), solo el 24,6 % de las aguas residuales recolectadas en el país reciben algún tipo de tratamiento antes de su disposición final, lo que significa que más del 75 % de los efluentes industriales y domésticos aún se descargan directamente a los cuerpos receptores sin depuración adecuada.

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA,

Libro VI, Anexo 1) establece en su Tabla 8 los *Límites Máximos Permisibles (LMP)* para descargas de aguas residuales hacia el sistema de alcantarillado público, los cuales fijan como valores máximos 70 mg/L para aceites y grasas, 250 mg/L para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y 220 mg/L para Sólidos Suspendedos Totales (SST), sin embargo, diversos informes de monitoreo ambiental realizados en terminales portuarios han evidenciado excedencias en estos parámetros, especialmente en la fracción oleosa y en la carga orgánica, lo cual sugiere deficiencias en los sistemas de pretratamiento y la necesidad de implementar medidas de optimización para asegurar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

La problemática se agrava por la variabilidad de la composición del efluente, que depende de los horarios de operación, el tipo de maquinaria y la frecuencia de lavado, dificultando el control operativo del sistema de tratamiento. Además, muchos terminales portuarios utilizan tecnologías tradicionales (como trampas de grasa o separadores API) que, aunque efectivas en condiciones controladas, no logran mantener una remoción constante de aceites y metales pesados cuando las cargas contaminantes son fluctuantes (Arce, 2018).

En este contexto, se vuelve prioritario optimizar el tratamiento de las aguas residuales industriales mediante el análisis de tratabilidad y la aplicación de tecnologías combinadas, que integren procesos físicos, químicos y biológicos capaces de mejorar la eficiencia global de remoción. Estudios recientes demuestran que la combinación de separación coalescente, coagulación-floculación y filtración avanzada o electrocoagulación puede alcanzar remociones superiores al 90 % de aceites y grasas y al 80 % de DQO en efluentes portuarios y automotrices (Ali et al., 2023; Muvel et al., 2024).

Asimismo, la contaminación del medio marino por fuentes terrestres, como los

efluentes industriales, representa un problema global. La Organización Marítima Internacional (IMO, 2018) advierte que los puertos deben implementar medidas efectivas para prevenir descargas que afecten los ecosistemas costeros, mientras que la Agenda 2030 de las Naciones Unidas en su Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS 6) promueve el manejo sostenible del agua y el saneamiento.

Por tanto, el problema radica en que los sistemas de tratamiento actuales en terminales portuarios del Ecuador presentan limitaciones en su eficiencia operativa, lo que impide garantizar el cumplimiento sostenido de los LMP (Límites Máximos permitidos) establecidos por la normativa ambiental. Esta deficiencia no solo genera impactos negativos sobre la infraestructura del sistema de alcantarillado, sino que además aumenta los costos operativos y el riesgo de sanciones ambientales por incumplimiento de la legislación vigente.

Frente a esta situación, la optimización del sistema de tratamiento se plantea como una necesidad técnica y ambiental, orientada a maximizar la eficiencia de remoción de contaminantes, reducir el consumo energético y garantizar la protección de los ecosistemas.

Este enfoque permitirá establecer un modelo de gestión replicable en otros terminales portuarios del país, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y al cumplimiento de los compromisos internacionales del Ecuador en materia de control de la contaminación hídrica.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo optimizar el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales de un terminal portuario bajo variabilidad de carga y restricciones de espacio para maximizar la remoción de contaminantes y minimizar costos operativos y garantizar el cumplimiento sostenido de la normativa ecuatoriana?

1.3 JUSTIFICACIÓN

La adecuada gestión de las aguas residuales industriales es un aspecto fundamental para la protección ambiental y el cumplimiento de la normativa vigente, especialmente en instalaciones con alta actividad operativa como los terminales portuarios. Las actividades de mantenimiento y lavado de maquinaria generan efluentes que requieren un manejo técnico apropiado para evitar impactos negativos sobre el entorno.

En el Terminal Portuario de Guayaquil, las aguas residuales industriales generadas en el taller de mantenimiento TPG-1 son actualmente manejadas mediante un sistema de pretratamiento y almacenamiento temporal, seguido de su evacuación por gestores autorizados. Si bien este esquema evita descargas directas al ambiente, presenta limitaciones operativas que hacen necesaria una evaluación técnica de su funcionamiento.

La presente investigación se justifica en la necesidad de caracterizar el agua residual industrial y analizar el desempeño del sistema de tratamiento actual, con el fin de generar información técnica confiable que sustente posibles procesos de mejora u optimización. Los resultados obtenidos aportan una base sólida para la toma de decisiones ambientales y el fortalecimiento del Plan de Manejo Ambiental de la empresa.

1.4 OBJETIVOS:

1.4.1 Objetivo general

Formular una propuesta de optimización del tratamiento de las aguas residuales industriales generadas en un terminal portuario, a través de la evaluación técnica y diagnóstica de los procesos actuales del sistema de tratamiento, con el fin de identificar oportunidades de mejora.

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las aguas residuales generadas en las actividades de lavado y mantenimiento de maquinaria, mediante el análisis de parámetros físico, químicos y microbiológicos, con el fin de determinar su nivel de contaminación y establecer la base técnica para su tratamiento.
- Ejecutar la tratabilidad de las aguas residuales industriales generadas en la unidad de análisis, mediante la aplicación de diferentes tecnologías de tratamiento, con el fin de determinar la alternativa más eficiente para la remoción de los contaminantes presentes en el agua residual.
- Seleccionar la opción de tratabilidad óptima mediante la diferenciación de los resultados obtenidos comparando con los valores permisibles establecidos en la normativa ambiental para presentar una propuesta a las autoridades del terminal portuario.

1.5 MARCO HIPOTÉTICO

1.5.1 Hipótesis General

Será que, formulando una propuesta de optimización del tratamiento de las aguas residuales industriales generadas en un terminal portuario, se podrá identificar oportunidades de mejora

1.5.2 Hipótesis Específicas

- Será que, caracterizando las aguas residuales generadas en las actividades de lavado y mantenimiento de maquinaria, se determinará su nivel de contaminación y establecerá la base técnica para su tratamiento.
- Determinando la tratabilidad de las aguas residuales industriales generadas en los

talleres de limpieza de maquinaria, se podrá determinar la alternativa más eficiente para la remoción de los contaminantes presentes en el agua residual.

- Seleccionando la opción de tratabilidad óptima se podrá presentar una propuesta a las autoridades del terminal portuario.

Capítulo 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son aquellas aguas cuya calidad original ha sido modificada debido a la incorporación de contaminantes derivados de actividades humanas, lo que limita su uso directo sin la aplicación de procesos de tratamiento. Estas aguas pueden contener una amplia variedad de sustancias físicas, químicas y biológicas que alteran sus características naturales y representan un riesgo potencial para el ambiente y la salud pública (Metcalf & Eddy, 2014).

Desde una perspectiva ambiental, las aguas residuales constituyen una de las principales fuentes de contaminación de los recursos hídricos, especialmente cuando son descargadas sin tratamiento adecuado. La presencia de materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes, microorganismos patógenos y compuestos tóxicos puede provocar la degradación de los ecosistemas acuáticos, la disminución del oxígeno disuelto y la afectación de los usos del agua (Tchobanoglous et al., 2014).

La gestión integral de las aguas residuales es un componente fundamental de la ingeniería ambiental, ya que permite reducir la carga contaminante, proteger los cuerpos receptores y garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. Para ello, es indispensable comprender el origen, la composición y el comportamiento de estos efluentes.

2.2 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Las aguas residuales industriales se generan como resultado de procesos productivos, actividades de mantenimiento, lavado de equipos y limpieza de instalaciones industriales. A diferencia de las aguas residuales domésticas, estas presentan una

composición más variable y compleja, debido a la diversidad de sustancias utilizadas en los procesos industriales (Metcalf & Eddy, 2014).

Entre las características más relevantes de las aguas residuales industriales se encuentran la presencia de aceites y grasas, sólidos suspendidos, compuestos orgánicos, metales y sustancias químicas específicas del proceso que las origina. Esta variabilidad dificulta su tratamiento y exige un análisis detallado para la selección de tecnologías adecuadas.

El manejo inadecuado de las aguas residuales industriales puede generar impactos ambientales significativos, por lo que su tratamiento y control requieren un enfoque técnico basado en la identificación de contaminantes, la evaluación de su tratabilidad y la aplicación de sistemas de tratamiento acordes con las condiciones de generación del efluente.

2.3 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN ACTIVIDADES PORTUARIAS

Los terminales portuarios concentran una amplia gama de actividades operativas caracterizadas por su alto dinamismo, tales como la carga y descarga de mercancías, el mantenimiento y lavado de maquinaria, la operación de patios de contenedores, talleres mecánicos y estaciones internas de abastecimiento. Estas actividades generan aguas residuales industriales con características particulares, que pueden incluir materia orgánica, sólidos suspendidos, aceites y grasas, metales y trazas de hidrocarburos.

Debido a la complejidad de estas corrientes, el manejo de las aguas residuales industriales en instalaciones portuarias se considera un aspecto crítico del desempeño ambiental. Las Guías de Medio Ambiente, Salud y Seguridad (EHS) para Puertos, Puertos Deportivos y Terminales recomiendan la segregación de corrientes de aguas

residuales (industrial, sanitaria y pluvial), la implementación de programas de minimización en la fuente y la selección de tecnologías de tratamiento acordes con la matriz de contaminantes generada (IFC, 2017).

Asimismo, a nivel internacional, la operación portuaria está influenciada por convenios ambientales como MARPOL, el cual establece la obligación de contar con instalaciones adecuadas para la recepción y gestión de residuos líquidos generados por los buques, con el objetivo de prevenir la contaminación marina (IMO, 2018).

2.4 CONTAMINANTES PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PORTUARIAS

Las aguas residuales industriales generadas en actividades portuarias pueden contener diversos contaminantes cuya naturaleza depende del tipo de operación desarrollada. Entre los principales se encuentran los aceites y grasas, los sólidos suspendidos, la materia orgánica, los hidrocarburos y, en algunos casos, metales pesados.

- Los aceites y grasas provienen principalmente de actividades de lubricación, mantenimiento y lavado de maquinaria, y pueden afectar la eficiencia de los sistemas de tratamiento.
- Los sólidos suspendidos corresponden a partículas orgánicas e inorgánicas arrastradas durante las labores de limpieza y escorrentía superficial.
- La materia orgánica, comúnmente evaluada mediante parámetros como la DBO y la DQO, indica el potencial de consumo de oxígeno del efluente.
- Los hidrocarburos y metales representan un riesgo adicional debido a su toxicidad y persistencia en el ambiente.
- Los tensoactivos reducen la tensión superficial del agua, facilitando la

emulsificación de grasas y aceites. Su presencia puede generar espuma, dificultar los procesos de separación física y afectar la eficiencia de los tratamientos biológicos al interferir con la transferencia de oxígeno.

- Los TPH en aguas residuales industriales provienen principalmente del uso de combustibles y lubricantes, y representan un riesgo ambiental por su toxicidad y persistencia. Estos compuestos pueden afectar los procesos de tratamiento, contaminar cuerpos de agua receptores y generar impactos negativos sobre la vida acuática.

La identificación de estos contaminantes es fundamental para la evaluación del impacto ambiental y la selección de tecnologías de tratamiento adecuadas.

2.5 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

El tratamiento de aguas residuales industriales se estructura en diferentes etapas, cuyo objetivo es reducir progresivamente la carga contaminante del efluente. Estas etapas incluyen el pretratamiento, el tratamiento primario, el tratamiento secundario y, en algunos casos, tratamientos avanzados (Metcalf & Eddy, 2014).

El pretratamiento tiene como finalidad remover sólidos gruesos, arenas, aceites y grasas mediante procesos físicos como rejillas, desarenadores, trampas de grasa y separadores agua-aceite.

El tratamiento primario permite la remoción de sólidos sedimentables y flotantes mediante procesos de sedimentación o flotación.

El tratamiento secundario se enfoca en la remoción de materia orgánica biodegradable a través de procesos biológicos.

Los tratamientos avanzados buscan mejorar la calidad del efluente mediante procesos físico-químicos específicos, según los requerimientos de descarga o reutilización.

2.6 TRAMPA DE GRASAS Y SEPARADORES AGUA–ACEITE

Las trampas de grasas y los separadores agua–aceite son unidades de pretratamiento diseñadas para remover aceites, grasas y líquidos ligeros presentes en las aguas residuales industriales. Su funcionamiento se basa en la diferencia de densidades entre el agua y los compuestos oleosos, permitiendo su separación por flotación.

Estos sistemas son ampliamente utilizados en talleres, patios industriales y áreas de mantenimiento, debido a su simplicidad operativa. Sin embargo, su eficiencia depende de un adecuado dimensionamiento, operación y mantenimiento periódico.

Normas técnicas como la UNE-EN 858-1/2 establecen criterios de diseño, instalación y mantenimiento de separadores de líquidos ligeros, constituyendo una referencia técnica para su aplicación en instalaciones industriales (UNE, 2002/2003).

2.7 TRATABILIDAD DEL AGUA RESIDUAL

La tratabilidad del agua residual se refiere a la capacidad de un efluente para ser tratado mediante procesos físicos, químicos o biológicos, con el fin de alcanzar una calidad adecuada para su disposición final (Tchobanoglous, Burton & Stensel, 2014). La evaluación de la tratabilidad permite determinar la viabilidad técnica de aplicar determinados procesos de tratamiento y optimizar su eficiencia operativa (Metcalf & Eddy, 2014).

En aguas residuales industriales, la evaluación de la tratabilidad resulta fundamental debido a la variabilidad de la composición del efluente, la cual puede afectar el desempeño de los sistemas de tratamiento y la estabilidad de los procesos (Spellman, 2013).

2.8 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

La evaluación de la calidad de las aguas residuales industriales se realiza mediante el

análisis de diversos parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los cuales permiten caracterizar el grado de contaminación del efluente e identificar sus posibles impactos ambientales (APHA, AWWA & WEF, 2017). Estos parámetros constituyen herramientas fundamentales para evaluar la eficiencia de los sistemas de tratamiento y verificar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente (Metcalf & Eddy, 2014). Asimismo, proporcionan información clave para el diagnóstico técnico del agua residual y la toma de decisiones en el diseño, operación y optimización de los procesos de tratamiento (Tchobanoglous et al., 2014).

2.8.1 Color

El color es una característica física del agua asociada a la presencia de sustancias disueltas o en suspensión, tanto de origen orgánico como inorgánico, que absorben o dispersan la luz visible. En aguas residuales industriales, el color puede estar relacionado con la presencia de materia orgánica, compuestos químicos, detergentes o trazas de hidrocarburos. Este parámetro es un indicador visual de contaminación y, aunque no siempre representa un riesgo directo, puede afectar la aceptación del efluente y reflejar la presencia de contaminantes persistentes (APHA, AWWA & WEF, 2017)

2.8.2 pH

El pH es un parámetro que indica el grado de acidez o alcalinidad del agua residual y se expresa en una escala logarítmica de 0 a 14. Este parámetro influye directamente en la eficiencia de los procesos de tratamiento físico-químicos y biológicos, ya que valores extremos pueden inhibir la actividad microbiana, afectar la solubilidad de los contaminantes y generar corrosión en las instalaciones. El control del pH es esencial para garantizar condiciones adecuadas durante el tratamiento y para cumplir con la normativa ambiental. (Metcalf & Eddy, 2014).

2.8.3 Temperatura

La temperatura del agua residual es un parámetro físico que influye en la velocidad de las reacciones químicas y biológicas que ocurren durante el tratamiento. Variaciones significativas de temperatura pueden alterar la solubilidad del oxígeno, modificar la actividad microbiana y afectar la eficiencia de los procesos de depuración. En aguas residuales industriales, la temperatura también puede reflejar el tipo de actividad que origina el efluente. (Tchobanoglous et al., 2014).

2.8.4 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) representa la cantidad de oxígeno disponible en el agua para los procesos biológicos y se expresa generalmente en mg/L. Este parámetro es fundamental para evaluar la calidad del agua, ya que niveles bajos de oxígeno disuelto indican una alta carga orgánica y un posible deterioro del cuerpo receptor. En aguas residuales, el OD permite inferir el grado de contaminación y el potencial impacto sobre los ecosistemas acuáticos. (APHA, AWWA & WEF, 2017)

2.8.5 Turbidez

La turbidez es una medida de la capacidad del agua para dispersar la luz debido a la presencia de partículas suspendidas, tales como arcillas, materia orgánica, microorganismos y otros sólidos finos. En aguas residuales industriales, la turbidez está asociada a la presencia de sólidos suspendidos y coloidales, y constituye un indicador importante de la eficiencia de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación aplicados durante el tratamiento. (Metcalf & Eddy, 2014).

2.8.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) representa la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable presente en el agua durante un período de cinco días a 20 °C. Este parámetro es ampliamente utilizado para evaluar la carga orgánica biodegradable de las aguas residuales. Valores elevados de DBO₅ indican una alta contaminación orgánica y un mayor potencial de consumo de oxígeno en los cuerpos receptores. (APHA, AWWA & WEF, 2017)

2.8.7 Demanda química de oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) mide la cantidad total de oxígeno necesaria para oxidar químicamente la materia orgánica presente en el agua, tanto biodegradable como no biodegradable. Este parámetro proporciona una estimación rápida de la carga orgánica total del efluente y suele presentar valores superiores a la DBO₅. La relación entre DBO₅ y DQO permite evaluar la biodegradabilidad del agua residual. (Metcalf & Eddy, 2014).

2.8.8 Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales corresponden a la fracción de sólidos presentes en el agua que se encuentran en forma disuelta, principalmente sales minerales, compuestos orgánicos solubles y otros iones. Este parámetro influye en la conductividad eléctrica del agua y puede afectar procesos de tratamiento, así como el uso final del efluente. Altos valores de SDT pueden limitar la reutilización del agua tratada. (Tchobanoglous et al., 2014).

2.8.9 Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales representan la fracción particulada no disuelta presente en el agua residual. Estos sólidos pueden incluir materia orgánica, partículas minerales y otros residuos arrastrados durante las actividades industriales. La presencia de SST afecta la turbidez, la sedimentabilidad del efluente y la eficiencia de los sistemas de tratamiento, siendo un parámetro clave para evaluar procesos físicos como la sedimentación y la filtración. (APHA, AWWA & WEF, 2017)

2.8.10 Aceites y grasas

El parámetro aceites y grasas cuantifica la presencia de compuestos oleosos de origen animal, vegetal o mineral presentes en el agua residual. Estos contaminantes provienen principalmente de actividades de mantenimiento, lubricación y lavado de maquinaria. La presencia de aceites y grasas puede interferir con los procesos de tratamiento, generar problemas operativos y afectar negativamente a los cuerpos de agua receptores. (Metcalf & Eddy, 2014).

2.8.11 Tensoactivos

Los tensoactivos son sustancias químicas presentes en detergentes y productos de limpieza que reducen la tensión superficial del agua, facilitando la remoción de suciedad y grasas. En aguas residuales industriales, los tensoactivos pueden generar espuma, afectar la transferencia de oxígeno y dificultar los procesos de tratamiento biológico. Su control es importante debido a su potencial impacto sobre la vida acuática. (Tchobanoglous et al., 2014).

2.8.12 Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)

Los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) representan la concentración total de compuestos hidrocarbonados derivados del petróleo presentes en el agua residual. Estos

contaminantes se asocian principalmente a derrames de combustibles, aceites lubricantes y actividades de mantenimiento industrial. La presencia de TPH es indicativa de contaminación por hidrocarburos y constituye un riesgo ambiental debido a su toxicidad y persistencia. (Metcalf & Eddy, 2014).

2.9 MARCO NORMATIVO AMBIENTAL APLICABLE

La gestión de las aguas residuales industriales generadas en el taller de mantenimiento del Terminal Portuario de Guayaquil se encuentra regulada por el régimen jurídico ambiental ecuatoriano, el cual establece principios, obligaciones y límites técnicos aplicables a la descarga de efluentes. El presente estudio se fundamenta en la normativa nacional vigente, la cual determina responsabilidades para los operadores de actividades productivas que generen vertidos líquidos (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017).

2.9.1 Normativa ambiental nacional (Ecuador)

- Código Orgánico del Ambiente (COA)

El Código Orgánico del Ambiente (COA), publicado en el Registro Oficial Suplemento No. 983 el 12 de abril de 2017, constituye el instrumento jurídico principal que regula la gestión ambiental en el Ecuador (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017).

Este cuerpo normativo establece el principio de prevención y la responsabilidad ambiental objetiva, determinando que toda persona natural o jurídica que desarrolle actividades susceptibles de generar contaminación debe adoptar medidas técnicas para evitar o minimizar impactos ambientales. En materia de vertidos, el COA dispone que las descargas líquidas deben cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa secundaria y someterse a procesos de monitoreo y control ambiental (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017).

En consecuencia, la optimización del tratamiento de aguas residuales industriales en el Terminal Portuario de Guayaquil responde a la obligación legal de prevenir la contaminación y garantizar el cumplimiento de estándares ambientales.

- Reglamento al Código Orgánico del Ambiente

El Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, expedido mediante Decreto Ejecutivo No. 752 y publicado en el Registro Oficial Suplemento No. 507 del 12 de junio de 2019, desarrolla los mecanismos técnicos y administrativos para la aplicación del COA (Presidencia de la República del Ecuador, 2019).

Este reglamento establece la obligatoriedad de implementar sistemas de control, monitoreo periódico de efluentes y presentación de informes ante la autoridad ambiental competente. Asimismo, dispone que los titulares de actividades industriales deben garantizar que sus descargas cumplan con los parámetros técnicos establecidos en la normativa ambiental vigente (Presidencia de la República del Ecuador, 2019).

En el contexto del presente estudio, estas disposiciones refuerzan la necesidad de evaluar la tratabilidad del agua residual generada en el taller TPG-1 y de proponer mejoras técnicas que aseguren el cumplimiento normativo.

- Acuerdo Ministerial No. 061

El Acuerdo Ministerial No. 061, publicado en el Registro Oficial Edición Especial No. 316 el 4 de mayo de 2015, reformó disposiciones relacionadas con la gestión ambiental contenidas en el Libro VI del TULSMA (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015a). Este acuerdo establece lineamientos para el seguimiento ambiental, el cumplimiento de obligaciones derivadas de licencias ambientales y la presentación de informes de monitoreo. En actividades industriales, como las desarrolladas en el taller de mantenimiento del Terminal Portuario, este instrumento normativo exige la verificación periódica de parámetros de descarga y el cumplimiento de límites técnicos

establecidos por la autoridad ambiental.

- Acuerdo Ministerial No. 097-A

El Acuerdo Ministerial No. 097-A, publicado en el Registro Oficial No. 387 el 4 de noviembre de 2015, introdujo reformas específicas al Anexo 1 del Libro VI del TULSMA, actualizando los límites máximos permisibles para descargas líquidas (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015b).

Este acuerdo es particularmente relevante para el presente estudio, ya que define con mayor precisión los valores permitidos para parámetros asociados a actividades industriales, tales como aceites y grasas, DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales, tensoactivos e hidrocarburos totales de petróleo.

La evaluación comparativa realizada en esta investigación se fundamenta en los valores establecidos por este instrumento técnico.

- Ordenanza Municipal del Cantón Guayaquil

A nivel local, la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado sanitario del cantón Guayaquil se encuentra regulada por la normativa municipal vigente, la cual establece condiciones técnicas para el vertido y disposiciones orientadas a proteger la infraestructura del sistema público (Municipio de Guayaquil, s.f.).

Estas ordenanzas determinan que los efluentes industriales deben cumplir parámetros técnicos que eviten daños estructurales, obstrucciones o afectaciones en estaciones de bombeo y plantas de tratamiento. En este sentido, la implementación de un sistema de tratamiento eficiente previo a la descarga constituye una obligación técnica y legal para el operador industrial.

2.9.2 Lineamientos técnicos internacionales aplicables

En el ámbito portuario, la gestión de aguas residuales industriales no solo debe enmarcarse en la normativa nacional vigente, sino también alinearse con lineamientos técnicos internacionales que establecen buenas prácticas para la prevención de la contaminación y la mejora continua del desempeño ambiental.

- Guías Ambientales, de Salud y Seguridad (EHS) para Puertos, Puertos Deportivos y Terminales – International Finance Corporation (IFC, 2017)

Las *Environmental, Health and Safety (EHS) Guidelines for Ports, Harbors and Terminals* constituyen un referente técnico internacional para la gestión ambiental en instalaciones portuarias. Estas directrices establecen criterios para la identificación y control de impactos ambientales derivados de actividades como mantenimiento de maquinaria, almacenamiento de combustibles y manejo de efluentes industriales.

En relación con las aguas residuales industriales, las guías recomiendan la segregación de corrientes contaminadas, la implementación de sistemas de pretratamiento, el control en la fuente de generación y la optimización operativa como medidas clave para reducir la carga contaminante antes de la descarga o disposición final (International Finance Corporation [IFC], 2017). Estos lineamientos guardan coherencia con el enfoque de optimización planteado en la presente investigación, al priorizar la reducción de contaminantes mediante procesos físico-químicos eficientes.

- Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL 73/78) – Organización Marítima Internacional (IMO, 1973/1978)

El Convenio MARPOL, adoptado en 1973 y complementado mediante el Protocolo de 1978, es el principal instrumento jurídico internacional orientado a prevenir la contaminación del medio marino causada por buques. Administrado por la

Organización Marítima Internacional (IMO), este convenio regula la descarga de hidrocarburos, sustancias nocivas y otros contaminantes al entorno marino (International Maritime Organization [IMO], 1973/1978).

Aunque MARPOL se centra en las operaciones marítimas, sus principios de prevención, control y manejo adecuado de residuos resultan aplicables al contexto de un terminal portuario, donde las actividades industriales pueden generar efluentes con presencia de hidrocarburos y aceites. En este sentido, la implementación de sistemas de tratamiento adecuados contribuye al cumplimiento indirecto de los estándares internacionales de protección del medio marino.

- ISO 14001:2015 – Sistemas de Gestión Ambiental

La norma ISO 14001:2015 establece los requisitos para implementar un Sistema de Gestión Ambiental basado en la identificación de aspectos ambientales, la evaluación de riesgos y la mejora continua del desempeño ambiental (International Organization for Standardization [ISO], 2015).

En instalaciones portuarias, esta norma promueve el control operacional de actividades con potencial de impacto, como la generación de aguas residuales industriales, así como la implementación de medidas preventivas y correctivas orientadas a minimizar riesgos ambientales. El enfoque de optimización del tratamiento propuesto en esta investigación se alinea con los principios de ISO 14001, particularmente en lo relativo a la prevención de la contaminación, el cumplimiento normativo y la mejora continua.

Capítulo 3

3. METODOLOGÍA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo es de tipo experimental, orientado a evaluar la eficiencia actual del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales y proponer alternativas de optimización técnica que aseguren el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. El enfoque experimental permitió analizar de forma directa el comportamiento del sistema ante las condiciones reales de operación, mientras que el descriptivo posibilitó caracterizar los parámetros físico-químicos del efluente.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población está conformada por las aguas residuales industriales generadas en el terminal portuario producto de las diferentes actividades que se realizan.

La muestra se determina mediante la ecuación se compone de muestras compuestas representativas recolectadas en dos puntos específicos.

3.3 VARIABLES DE ESTUDIO

3.3.1 Variables independientes

- pH
- Dosis de productos químicos

3.3.2 Variables dependientes

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- Aceites y Grasas (AyG)
- Turbidez y color

- Hidrocarburos totales de petróleo
- Tensoactivos

3.4 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

Equipos de campo

- pH-metro portátil
- Turbidímetro portátil
- Termómetro digital
- Cronómetro

Equipos de laboratorio

- pH-metro y conductímetro de bancada
- Incubadora (DBO_5)
- Espectrofotómetro (DQO)
- Material gravimétrico para SST y SDT

Reactivos y materiales

- Coagulante: cloruro férrico
- Floculante: polímero catiónico
- Ácido clorhídrico y solución de hidróxido de sodio para ajuste de pH
- Carbón activado granular
- Arena de río
- Piedra chispa

3.5 ETAPAS DEL ESTUDIO

3.5.1 Toma de caudal

La toma de caudal se realizó mediante la estimación del volumen diario de aguas residuales generadas en el área de estudio, considerando la dinámica operativa del

Taller del terminal portuario. Debido a que la generación del efluente es intermitente y está directamente asociada a las actividades de lavado y mantenimiento de maquinaria, el caudal no se evaluó como un flujo continuo, sino a partir del tiempo efectivo de operación diaria.

Para cada día evaluado, se identificó el número de lavados realizados, así como la duración aproximada de cada evento, determinándose las horas efectivas de lavado. Con base en estas horas de operación, se asignó un caudal promedio representativo, obtenido a partir de las condiciones típicas de descarga observadas durante la operación del área.

El volumen diario generado se calculó multiplicando el caudal promedio estimado por las horas efectivas de lavado correspondientes a cada día, conforme a la expresión:

$$V_d = Q_{\text{prom}} \times t$$

donde:

V_d = volumen diario generado (m^3)

Q_{prom} = caudal promedio diario (m^3/h)

T = horas efectivas de lavado (h)

La información obtenida se organizó en un registro diario de 15 días, el cual permite representar diferentes escenarios operativos, tales como días con uno o dos lavados, jornadas de alta intensidad, periodos de baja actividad y lavados puntuales. Las observaciones registradas para cada día describen el comportamiento operativo predominante y facilitan la interpretación del volumen generado.

Este registro fue utilizado como herramienta de estimación hidráulica, orientada al análisis del comportamiento del caudal y al dimensionamiento preliminar del sistema de tratamiento, sin considerarse como una medición instrumental continua.

3.5.2 Pruebas de tratabilidad

Antes de iniciar los ensayos, se realizó la preparación del material y equipos necesarios para garantizar la confiabilidad de los resultados.

1. Verificar la limpieza de los materiales y equipos a utilizar (vasos de 1 L, probetas, filtros, pipetas, embudos, botellas para DBO, etc.).
2. Preparar y rotular los recipientes para las muestras compuestas de afluente y efluente.
3. Calibrar los equipos de medición (pH-metro, turbidímetro y balanza analítica) utilizando patrones certificados.
4. Elaborar las soluciones madre de coagulante (por ejemplo, PAC o cloruro férrico) y de polímero (0.1–0.2 %), dejándolas reposar al menos 30 minutos antes de su uso.
5. Registrar las condiciones iniciales del agua residual cruda: pH, temperatura, turbidez y color aparente.

3.5.3 Muestreo

1. Recolectar muestras compuestas representativas en los puntos A (afluente) y B (efluente) siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013.
2. Medir en campo los parámetros básicos: pH, temperatura y turbidez.
3. Preservar las muestras en envases adecuados y mantenerlas refrigeradas a 4 ± 2 °C, evitando la exposición solar.
4. Transportar las muestras al laboratorio manteniendo la cadena de custodia para asegurar su integridad.

3.5.4 Caracterización de la muestra

La selección de los parámetros evaluados en el presente estudio se realizó considerando los lineamientos técnicos establecidos en la “Guía para la ejecución de monitoreos de aguas residuales industriales” emitida por el Municipio de Guayaquil, la cual determina los parámetros mínimos de control para actividades de almacenamiento de contenedores e instalaciones industriales, entre los que se incluyen DQO, aceites y grasas, pH, tensoactivos y TPH.

Las muestras se recolectan y preservan conforme a la NTE INEN 2176:2013, y analizadas bajo los métodos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2017).

Tabla 1*Parámetros para la caracterización del agua*

No	Parámetros	Unidad	Equipo	Método
1	Color	Pt-Co	DR 6000	Espectrofotométrico
2	pH		Potenciómetro	Potenciometría
3	Temperatura	°C	Termómetro	Medición directa
4	Oxígeno disuelto		Sonda multiparamétrica	Electroquímico
5	Turbidez	NTU	Turbidímetro	Método dispersión de luz
6	DBO	mg/L	Espectrofotómetro	Método colorimétrico
7	DQO	mg/L	Espectrofotómetro	Método colorimétrico
8	Sólidos disueltos totales	mg/L	Balanza + horno	Método gravimétrico
9	Sólidos suspendidos totales	mg/L	Balanza + horno	Método gravimétrico
10	Aceites y grasas	mg/L	Equipo de hexano	Método gravimétrico con extracción por solvente
11	Tensoactivos	mg/L	Espectrofotómetro	Método colorimétrico con azul de metileno
12	Hidrocarburos totales de petróleo (tph)	mg/L	Espectrofotómetro infrarrojo	Método por extracción con solvente y análisis por infrarrojo

Elaborado por: Francisco Carchi y Ruth Barrera (2026)

A continuación, se detallan las metodologías específicas para cada parámetro evaluado:

- **pH:**

El pH se determinó mediante el método potenciométrico, de acuerdo con el Standard Methods 4500-H⁺ B. Este procedimiento consiste en medir la actividad de los iones hidrógeno presentes en la muestra utilizando un electrodo combinado de vidrio conectado a un pH-metro digital. El equipo se calibró antes de cada serie de mediciones empleando soluciones patrón de pH 4.00, 7.00 y 10.00. La medición se realizó directamente en campo o inmediatamente después del muestreo, evitando la exposición prolongada al aire para prevenir alteraciones en la lectura.

- **Temperatura:**

La temperatura del agua se midió mediante el método termométrico descrito en el Standard Methods 2550 B. La medición se realizó con un termómetro digital de inmersión o un sensor multiparámetro, registrando el valor en grados Celsius. Este parámetro se midió de forma inmediata en campo, ya que la temperatura puede variar fácilmente con las condiciones ambientales. Su control es fundamental, puesto que influye en la solubilidad del oxígeno y en las reacciones biológicas del agua residual.

- **Sólidos suspendidos totales (SST):**

La determinación de los SST se llevo a cabo mediante el método gravimétrico según el Standard Methods 2540 D. Este método consiste en filtrar un volumen conocido de muestra a través de un filtro de fibra de vidrio prepesado y previamente secado, para luego secar el filtro con el residuo retenido en una estufa a 103–105 °C hasta alcanzar peso constante. La diferencia de peso se expresa en miligramos por litro (mg/L) y

representa la cantidad de material sólido no disuelto presente en el agua. Las muestras se mantuvieron refrigeradas y se analizaron en un periodo máximo de siete días.

- **Sólidos disueltos totales (SDT):**

Los sólidos disueltos totales se determinaron también por el método gravimétrico, siguiendo el Standard Methods 2540 C. En este caso, la muestra previamente filtrada se evapora en cápsulas de porcelana y se seca en una estufa a 180 °C hasta peso constante. El residuo obtenido representa las sales, minerales y materia orgánica disuelta en el agua. El resultado se expresa en mg/L y las muestras se conservaron refrigeradas hasta su análisis.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅):**

La DBO₅ se determina mediante el método de dilución e incubación durante cinco días a 20 °C, de acuerdo con el Standard Methods 5210 B. Este ensayo midió la cantidad de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos durante la descomposición biológica de la materia orgánica presente en la muestra. Se utilizaron botellas de DBO de 300 mL, las cuales se llenarán sin burbujas para evitar el intercambio gaseoso. El oxígeno disuelto se midió al inicio y al final del periodo de incubación con un medidor de oxígeno calibrado. La diferencia entre ambas lecturas refleja la cantidad de oxígeno consumido, expresada en mg/L. Las muestras se analizaron dentro de las 24 horas posteriores a la recolección.

- **Demanda química de oxígeno (DQO):**

La DQO se analizó según el método del dicromato cerrado (Standard Methods 5220D). Este procedimiento se basa en la oxidación química de la materia orgánica mediante

una solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en medio ácido, bajo condiciones de digestión a 150 °C durante dos horas. El consumo del oxidante se mide colorimétricamente en un espectrofotómetro UV-Vis, y los resultados se expresan en mg/L de oxígeno equivalente. Las muestras se acidificaron a $pH < 2$ con ácido sulfúrico (H_2SO_4) y se mantuvieron refrigeradas hasta su análisis.

- **Aceites y grasas (AyG):**

La determinación de aceites y grasas se efectuó por el método extractivo– gravimétrico (Standard Methods 5520 B). La muestra se acidificó a pH menor que 2 con ácido sulfúrico y se extrae la fracción lipídica utilizando un solvente orgánico, generalmente n-hexano o éter de petróleo. El extracto obtenido se evapora y el residuo seco se pesa para determinar la cantidad de aceites y grasas presentes en la muestra. El resultado se expresó en mg/L. Las muestras se recolectaron en frascos de vidrio ámbar y se analizó dentro de los 28 días posteriores a la toma.

- **Turbidez:**

La turbidez se midió mediante el método nefelométrico (Standard Methods 2130 B), el cual determinó la dispersión de la luz causada por partículas suspendidas en la muestra. La lectura se realizó utilizando un turbidímetro calibrado con estándares de formacina de 0, 20, 100 y 800 NTU. El resultado se expresó en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). Este análisis debe realizarse preferentemente en campo o dentro de las primeras 24 horas posteriores al muestreo.

- **Color aparente y verdadero:**

El color se determinó mediante el método espectrofotométrico descrito en el Standard Methods 2120 C. La muestra, filtrada para obtener el color verdadero o sin filtrar para el color aparente, se analizó midiendo su absorbancia a una longitud de onda de 455 nm en un espectrofotómetro UV-Vis con celda de 50 mm. Los resultados se expresaron en unidades de platino-cobalto (UPC). Las muestras se conservaron refrigeradas a 4 °C y se analizaron dentro de las 48 horas siguientes al muestreo.

- **Oxígeno disuelto (OD):**

La determinación del oxígeno disuelto se realizó mediante el método electrométrico se utilizó una sonda polarográfica o galvánica conectada a un oxímetro calibrado que mide directamente la concentración de oxígeno disuelto en mg/L.

La medición se realiza en campo, inmediatamente después de la toma de muestra, ya que el OD se ve fuertemente afectado por la temperatura y el tiempo de exposición al aire.

- **Hidrocarburos totales de Petróleo (TPH)**

La determinación de los Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) se realizó mediante un método de extracción con solvente orgánico, seguido de su cuantificación por espectrofotometría infrarroja, de acuerdo con el método EPA 418.1 y procedimientos descritos en Standard Methods. El procedimiento consistió en la extracción de los hidrocarburos presentes en la muestra mediante un solvente no polar, separando posteriormente la fase orgánica para su análisis. La absorbancia registrada en el equipo infrarrojo permitió cuantificar la concentración total de hidrocarburos presentes. Este

método es ampliamente utilizado para la evaluación de contaminación por aceites y combustibles en aguas residuales industriales.

- **Tensoactivos**

Los tensoactivos se determinaron mediante el método colorimétrico con azul de metileno (MBAS), conforme a lo establecido en los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 5540 C. El método se basa en la formación de un complejo entre los tensoactivos aniónicos presentes en la muestra y el colorante azul de metileno, el cual es extraído con un solvente orgánico. La intensidad del color del extracto se midió mediante un espectrofotómetro UV-Visible, siendo directamente proporcional a la concentración de tensoactivos en la muestra. Previo al análisis, las muestras fueron acondicionadas y, de ser necesario, filtradas para eliminar interferencias, asegurando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

3.5.5 Ensayo de coagulación-floculación (Jar-Test)

Este ensayo permitió determinar las condiciones óptimas de pH, tipo de coagulante y dosis para mejorar la eficiencia de remoción de sólidos y materia orgánica.

1. Colocar 6 vasos de 1 litro con agua del afluente (muestra cruda).
2. Ajustar el pH de cada vaso a diferentes rangos: 5.5–6.0, 6.5–7.0 y 7.0–7.5.
3. Agregar el coagulante en tres dosis diferentes para cada rango de pH (por ejemplo: 60, 120 y 180 mg/L de PAC o 80, 140 y 200 mg/L de FeCl₃).
4. Realizar una mezcla rápida durante 1 minuto a alta velocidad (200–300 rpm).
5. Agregar el polímero floculante (0.5–2.0 mg/L) según el desempeño visual de la coagulación.
6. Continuar con la mezcla lenta (floculación) durante 10–20 minutos a 40–60 rpm.
7. Dejar reposar 5 minutos y observar la formación del flóculo y la claridad del

sobrenadante.

8. Seleccionar la condición óptima de tratamiento considerando la menor turbidez y SST en el sobrenadante y la estabilidad del flóculo formado.

3.5.6 Ensayo de sedimentación

Con el agua tratada en la condición óptima obtenida del jar-test, se evaluó el comportamiento de sedimentación en laboratorio.

1. Transferir la muestra tratada a probetas graduadas de 1 litro.
2. Dejar sedimentar en reposo y tomar submuestras a intervalos de 5, 15, 30 y 60 minutos, a 5 cm por debajo de la superficie.
3. Medir la turbidez y, en los tiempos representativos, analizar los SST y aceites y grasas (AyG) del sobrenadante.

3.5.7 Ensayo de filtración o adsorción (pulido físico)

Se realizaron ensayos de filtración y adsorción como etapa de pulido físico del agua residual tratada, con el objetivo de mejorar su calidad final mediante la remoción de contaminantes remanentes. Para estos ensayos se emplearon carbón activado granular (GAC), arena de río y piedra chispa, materiales comúnmente utilizados por su capacidad de retención de sólidos finos, compuestos orgánicos y trazas de contaminantes.

El carbón activado granular fue utilizado principalmente por su alta área superficial y su capacidad de adsorción de compuestos orgánicos, color, olores y residuos de hidrocarburos. La arena de río y la piedra chispa se emplearon como medios filtrantes para la remoción física de sólidos suspendidos y partículas coloidales, contribuyendo a la reducción de la turbidez y al acondicionamiento del efluente.

Estos ensayos permitieron evaluar la eficiencia de cada medio filtrante y su posible

aplicación como etapa complementaria dentro del sistema de tratamiento, orientada a la mejora de la calidad del efluente previo a su descarga o reutilización, garantizando así un tratamiento más completo y robusto.

3.5.8 Propuesta de optimización y validación técnica

Con base en el diagnóstico y la evaluación, se elaboraron una propuesta técnica de optimización que pudo incluir mejoras en el diseño y mantenimiento de la trampa de grasas, ajustes en los tiempos de retención hidráulica, así como la definición de una propuesta de dosis adecuada de coagulante y floculante, según las condiciones reales del efluente. Todas estas acciones estuvieron orientadas a asegurar un pretratamiento eficiente antes de la descarga al sistema de alcantarillado y al cumplimiento de los valores establecidos en la normativa vigente.

Las alternativas se analizaron bajo criterios de factibilidad técnica, económica y ambiental, proponiendo la opción más viable para garantizar la eficiencia y el cumplimiento de la normativa.

Finalmente, se validó la propuesta mediante una simulación teórica del sistema optimizado y la comparación de los valores proyectados frente a los actuales.

3.5.9 Evaluación del desempeño del sistema

3.5.9.1 Evaluación de la remoción de la contaminación

Con los resultados obtenidos, se calculó la eficiencia de remoción de cada parámetro en las diferentes etapas del tratamiento. Se aplicaron balances de masa, gráficos comparativos y fórmulas porcentuales para determinar el rendimiento operativo. Esta fase permitió identificar los procesos de menor desempeño y las causas de ineficiencia, tales como tiempos de retención insuficientes, acumulación de grasas o lodos, y deficiencias hidráulicas o de dosificación química. De forma complementaria, se evaluó

la correlación entre variables operativas (pH, caudal, dosis) y el desempeño de remoción. Los resultados se compararon con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Anexo 1 del Acuerdo Ministerial N.º 097-A (2015), específicamente los valores establecidos en la Tabla 8, correspondiente a los límites de descarga hacia un sistema de alcantarillado.

3.5.8.2 Evaluación de análisis de Riesgo

Para la evaluación de los riesgos asociados al sistema de tratamiento propuesto, se utilizó una matriz cualitativa de riesgo (Tabla 2), basada en la relación entre probabilidad de ocurrencia y severidad del impacto. Esta herramienta permitió determinar el nivel de criticidad de cada riesgo identificado dentro de las etapas de clarificación y filtración.

La evaluación se desarrolló considerando los siguientes criterios:

Probabilidad

La probabilidad representa la posibilidad de que un evento no deseado ocurra durante la operación del sistema. Se clasificó en tres niveles:

- **Baja:** El evento es poco frecuente y podría presentarse únicamente bajo condiciones excepcionales o fallas poco comunes.
- **Media:** El evento puede ocurrir de manera ocasional durante la operación normal del sistema.
- **Alta:** El evento tiene alta posibilidad de ocurrir si no se implementan controles adecuados o si las condiciones operativas son inestables.

Severidad

La severidad corresponde a la magnitud de las consecuencias que puede generar el evento en términos ambientales, operativos, económicos o de cumplimiento normativo.

- **Baja:** Impacto mínimo, fácilmente controlable y sin afectación significativa al ambiente ni al cumplimiento de la normativa vigente.
- **Media:** Impacto moderado que puede afectar la eficiencia del sistema o generar incumplimientos parciales.
- **Alta:** Impacto significativo que podría ocasionar afectación ambiental relevante, sanciones regulatorias o paralización operativa.

Nivel de Riesgo

El nivel de riesgo se obtiene de la combinación entre probabilidad y severidad, generando las siguientes categorías:

- **Bajo:** Riesgo aceptable. Se mantiene bajo control mediante monitoreo rutinario.
- **Tolerable:** Riesgo que requiere medidas preventivas básicas y seguimiento continuo.
- **Moderado:** Riesgo que demanda acciones correctivas o mejoras operativas para reducir su nivel.
- **Alto:** Riesgo prioritario que requiere intervención inmediata y aplicación de controles específicos.
- **Muy Alto:** Riesgo crítico que exige acciones urgentes, pudiendo requerir la suspensión temporal de la actividad hasta mitigar el impacto.

Esta metodología permitió priorizar los riesgos ambientales más relevantes dentro del sistema de tratamiento, facilitando la toma de decisiones orientadas a la prevención, mitigación y control, en concordancia con los principios de gestión ambiental y mejora continua.

Tabla 2*Análisis de riesgo*

PROBABILIDAD	SEVERIDAD			
		BAJA	MEDIA	ALTA
	BAJA	BAJO	TOLERABLE	MODERADO
	MEDIA	TOLERABLE	MODERADO	ALTO
ALTA	MODERADO	ALTO	MUY ALTO	

Elaborado por: Francisco Carchi y Ruth Barrera (2026)

Tabla 3*Tabla para presentar los resultados de la evaluación de análisis de riesgo*

Actividad	Peligro o evento	Probabilidad	Severidad	Nivel (según matriz)	Controles/medidas básicas

Elaborado por: Francisco Carchi y Ruth Barrera (2026)

3.5.8.3 Evaluación del impacto Ambiental

La evaluación ambiental del proyecto se desarrolló mediante la aplicación de la Matriz Modificada de Leopold, herramienta semicuantitativa sugerida por la Unión Europea para la identificación y valoración sistemática de impactos ambientales. Este método permite establecer la relación causa–efecto entre las actividades del proyecto y los componentes del medio que pueden verse afectados.

La matriz se estructura en filas y columnas, donde las columnas representan las acciones antrópicas o actividades del proyecto (en este caso, principalmente las etapas de

clarificación y filtración), mientras que las filas corresponden a los factores o componentes ambientales susceptibles de alteración. A partir de la intersección entre ambos elementos se determina la existencia o no de impacto ambiental.

Para la presente investigación, la matriz utilizada consta de diez factores de evaluación, previamente definidos y valorados por el grupo evaluador, con el fin de garantizar criterios homogéneos y coherentes durante el proceso de calificación.

Cada impacto identificado fue valorado asignándole un puntaje y un signo que indica su naturaleza. Se utilizó el signo positivo (+) cuando el impacto es beneficioso para el ambiente y el signo negativo (–) cuando el impacto es adverso o perjudicial. En aquellos casos en los que no se identificó relación de causa–efecto entre la actividad evaluada y el componente ambiental analizado, se asignó un valor de cero (0).

Cálculo del Valor de Importancia del Impacto

El Valor de Importancia (VdI) de cada impacto ambiental se determinó mediante la siguiente expresión matemática:

$$VdI = \pm(3I + 2Ex + Mo + Pe + Rv + Ac + Si + Ef + Pr + Rc)$$

Donde:

- I = Intensidad
- Ex = Extensión
- Mo = Momento
- Pe = Persistencia
- Rv = Reversibilidad
- Ac = Acumulación
- Si = Sinergia
- Ef = Efecto

- Pr = Periodicidad
- Rc = Recuperabilidad

El signo positivo o negativo de la ecuación indica si el impacto es beneficioso o perjudicial.

Esta formulación permite obtener una valoración mínima de 13 puntos y una máxima de 39 puntos, lo cual facilita clasificar los impactos desde bajos hasta altos en función de su magnitud e importancia.

Definición de los Factores de Evaluación

A continuación, se describen los diez factores considerados en la evaluación:

- Intensidad (I)

Se refiere al grado de afectación o nivel de alteración que el impacto produce sobre el componente ambiental. Se valoró en tres niveles:

Baja (1)

Media (2)

Alta (3)

- Extensión (Ex)

Corresponde al área de influencia del impacto dentro del entorno evaluado. Puede ser:

Puntual (1)

Parcial (2)

Extenso (3)

- Momento (Mo)

Indica el tiempo que transcurre entre la ejecución de la acción y la manifestación del impacto:

Largo plazo (1)

Mediano plazo (2)

Inmediato (3)

- Persistencia (Pe)

Se refiere al tiempo durante el cual el impacto permanece activo en el medio:

Fugaz (1)

Temporal (2)

Permanente (3)

- Reversibilidad (Rv)

Es la capacidad del medio para recuperar sus condiciones originales de forma natural:

Corto plazo (1)

Mediano plazo (2)

Largo plazo (3)

- Sinergia (Si)

Evalúa la interacción entre dos o más acciones que puedan generar un impacto conjunto:

Sin sinergismo (1)

Sinérgico (2)

Muy sinérgico (3)

- Acumulación (Ac)

Considera la posibilidad de que los efectos del impacto se incrementen progresivamente debido a acciones repetidas:

Simple (1)

Acumulativo (3)

- Efecto (Ef)

Analiza la relación causa–efecto del impacto:

Indirecto (1)

Directo (3)

- Periodicidad (Pr)

Hace referencia a la frecuencia con la que se manifiesta el impacto:

Irregular o discontinuo (1)

Periódico (2)

Continuo (3)

- Recuperabilidad (Rc)

Determina la posibilidad de mitigar o revertir el impacto mediante intervención humana:

Recuperable inmediatamente (1)

Recuperable a mediano plazo (2)

Mitigable (3)

La evaluación de impactos ambientales se aplicó específicamente a la fase de operación y mantenimiento del sistema propuesto de tratamiento de aguas residuales. Con base en el Valor de Importancia obtenido para cada interacción actividad–componente, se identificó el grado de afectación ambiental y el componente más impactado.

Este procedimiento permitió establecer una jerarquización de impactos, facilitando la formulación de medidas de prevención, mitigación y control ambiental dentro del diseño propuesto para la planta de tratamiento.

Tabla 4

Tabla para presentar los resultados de la evaluación de Impacto ambiental

ACTIVIDAD	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	VALOR DEL IMPACTO	
			Criterio	Valor
Clarificación				
Filtración				

Nota: La tabla donde se realizó la evaluación por su extensión se encuentra en el anexo 3.

3.5.8.4 Evaluación del Costo Beneficio

Para poder evaluar el beneficio económico se determinaron todos los costos en los que incurre el proceso bajo la operación actual y se comparara con los costos de la inversión y los de la nueva operación para compararlos entre sí y establecer el monto de beneficio y poder determinar el tiempo de retorno de la inversión fija inicial.

Capítulo 4

4. RESULTADOS

4.1 GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LA UNIDAD DE ANÁLISIS

4.1.1 Actividades de la empresa

El Terminal Portuario de Guayaquil es una infraestructura portuaria de carácter estratégico para el comercio exterior del Ecuador, dedicada a la operación logística integral de carga contenerizada y a la atención de embarcaciones mercantes de tráfico nacional e internacional. Las actividades que se desarrollan en el terminal se ejecutan de manera continua y demandan el uso intensivo de equipos electromecánicos, maquinaria pesada, vehículos operativos e insumos industriales, lo que conlleva a la generación de aguas residuales de origen principalmente industrial.

Entre las actividades operativas principales se incluyen las labores de carga y descarga de contenedores en muelle, el traslado y apilamiento de contenedores en patios operativos, así como la movilización interna de carga mediante grúas pórtico, grúas RTG, reach stackers, montacargas y tractocamiones. Estas operaciones requieren un mantenimiento constante de los equipos para garantizar su operatividad, seguridad y continuidad del servicio portuario.

Como parte de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, se realizan procesos periódicos de lavado de maquinaria pesada, limpieza de componentes mecánicos, cambio de aceites lubricantes, engrase de piezas móviles y lavado de superficies contaminadas con residuos oleosos. Dichas actividades generan aguas residuales con presencia de aceites y grasas, sólidos suspendidos, detergentes, restos de combustibles e hidrocarburos, así como partículas metálicas provenientes del desgaste de los equipos.

Adicionalmente, el terminal cuenta con áreas específicas destinadas a talleres

mecánicos, patios de maniobra, zonas de abastecimiento de combustible, áreas de lavado de equipos, bodegas y zonas administrativas. En estas áreas se desarrollan actividades complementarias como la limpieza de pisos industriales, lavado de áreas de trabajo, manejo de derrames accidentales y mantenimiento de infraestructura, las cuales contribuyen de forma directa a la generación de aguas residuales industriales.

Las aguas residuales generadas presentan una composición variable en función del tipo de actividad desarrollada, la frecuencia de mantenimiento, los horarios de operación y la intensidad del tráfico portuario. Esta variabilidad se traduce en fluctuaciones en las cargas contaminantes, especialmente en parámetros como aceites y grasas, sólidos suspendidos totales y demanda química de oxígeno, lo que representa un desafío para la operación eficiente del sistema de tratamiento existente.

El terminal portuario opera bajo un marco de cumplimiento de la normativa ambiental ecuatoriana, disponiendo de un sistema de pretratamiento de aguas residuales industriales previo a su descarga al sistema de alcantarillado. Sin embargo, debido a la magnitud de las operaciones y a la naturaleza de las actividades descritas, las aguas residuales generadas constituyen una fuente relevante de presión ambiental, lo que justifica la evaluación técnica de su comportamiento y la necesidad de analizar la eficiencia del sistema de tratamiento frente a las condiciones reales de operación.

En este contexto, la identificación y descripción de las actividades de la empresa permiten establecer la relación directa entre los procesos operativos del terminal y la generación de aguas residuales industriales, constituyendo la base para la caracterización del efluente y la posterior evaluación de la tratabilidad del agua residual desarrollada en los apartados siguientes de este capítulo.

Ilustración 1

Vista general del área operativa del Terminal Portuario de Guayaquil



Fuente: Registro fotográfico tomado por los autores en campo.

4.1.2 Descripción de las áreas de la empresa

El Terminal Portuario de Guayaquil se encuentra organizado en diversas áreas operativas y de apoyo que permiten el desarrollo continuo de las actividades portuarias. Cada una de estas áreas cumple una función específica dentro del proceso logístico y operativo del terminal y, de manera directa o indirecta, participa en la generación de aguas residuales de origen industrial.

Entre las áreas principales se identifican los patios operativos y zonas de maniobra, donde se realiza el almacenamiento temporal, movilización y apilamiento de contenedores. En estos espacios se llevan a cabo actividades de circulación constante de maquinaria pesada y vehículos operativos, así como labores periódicas de limpieza de superficies, lo que genera escorrentías con presencia de sólidos, polvo, residuos oleosos y restos de combustibles.

El terminal dispone además de talleres de mantenimiento mecánico destinados a la reparación, lubricación y mantenimiento preventivo y correctivo de equipos portuarios y vehículos. En estas áreas se realizan actividades como el lavado de piezas, cambio de

aceites, engrase de componentes, limpieza de motores y manejo de residuos derivados del mantenimiento, generándose aguas residuales con concentraciones variables de aceites, grasas, detergentes y partículas metálicas.

Otra área relevante corresponde a las zonas de lavado de maquinaria y equipos, donde se efectúa la limpieza de grúas, tractocamiones, montacargas y otros equipos operativos. Estas actividades implican el uso de agua a presión y productos de limpieza, produciendo efluentes con alta carga de aceites y grasas, sólidos suspendidos y materia orgánica, que son conducidos hacia el sistema de pretratamiento del terminal.

Asimismo, el terminal cuenta con áreas de abastecimiento de combustibles y lubricantes, las cuales representan puntos críticos desde el punto de vista ambiental debido al riesgo de derrames accidentales. Las labores de limpieza y control de estas áreas generan aguas residuales potencialmente contaminadas con hidrocarburos, las cuales requieren un manejo adecuado antes de su evacuación.

Complementariamente, existen áreas administrativas, bodegas y zonas de servicios generales que, si bien generan principalmente aguas residuales de tipo doméstico, pueden contribuir de forma indirecta al sistema de drenaje interno del terminal. Sin embargo, el presente estudio se enfoca principalmente en las áreas operativas e industriales, por ser las de mayor relevancia en la generación de cargas contaminantes. La distribución y funcionamiento de las áreas descritas determinan la variabilidad en la cantidad y calidad de las aguas residuales generadas, influyendo directamente en el comportamiento del sistema de tratamiento existente. Por esta razón, la identificación y descripción detallada de las áreas de la empresa constituye un elemento fundamental para comprender el origen de las cargas contaminantes y sustentar el análisis de la caracterización del agua residual presentado en los apartados siguientes.

4.1.3 Identificación de actividades que generan agua residual

En el Terminal Portuario de Guayaquil se identifican diversas actividades operativas y de apoyo que constituyen las principales fuentes de generación de aguas residuales de origen industrial. Estas actividades están directamente relacionadas con el funcionamiento cotidiano del terminal y con el mantenimiento de su infraestructura y equipos.

Una de las principales actividades generadoras de agua residual corresponde al lavado de maquinaria pesada y equipos portuarios, tales como grúas, tractocamiones, montacargas y equipos auxiliares. Este proceso implica el uso de agua a presión y productos de limpieza para remover residuos de aceites, grasas, polvo, lodos y restos de combustibles adheridos a las superficies, generando efluentes con alta carga de aceites y grasas y sólidos suspendidos.

En el taller de mantenimiento, estas actividades de lavado se realizan bajo condiciones operativas controladas, con un máximo de dos eventos de lavado por jornada. Cada lavado tiene una duración aproximada de dos horas efectivas, considerando adicionalmente hasta una hora complementaria destinada a maniobras operativas, preparación del área y contingencias menores. Por lo tanto, el tiempo máximo estimado de generación de aguas residuales por lavado puede alcanzar hasta dos horas y media por evento, lo cual constituye la base técnica utilizada para la estimación del caudal diario y mensual desarrollado en el presente estudio.

Otra actividad relevante es el mantenimiento mecánico preventivo y correctivo realizado en los talleres del terminal. Durante estas labores se efectúan cambios de aceite, lubricación de componentes, limpieza de piezas y motores, así como la remoción de residuos oleosos acumulados. Estas operaciones producen aguas residuales con presencia de hidrocarburos, detergentes, partículas metálicas y residuos de lubricantes,

que requieren un manejo adecuado antes de su descarga.

Asimismo, la limpieza de áreas operativas, patios y pisos industriales constituye una fuente adicional de generación de aguas residuales. Estas actividades se realizan de manera periódica para mantener condiciones adecuadas de seguridad y operación, generando escorrentías que arrastran sólidos, polvo, residuos oleosos y material particulado acumulado en las superficies.

Las zonas de abastecimiento de combustibles y lubricantes también representan puntos críticos en la generación de aguas residuales, especialmente en situaciones de derrames accidentales o durante las actividades de limpieza y control de estas áreas. Las aguas residuales generadas pueden contener hidrocarburos y otros compuestos derivados del combustible, lo que incrementa su carga contaminante.

Adicionalmente, se identifican actividades asociadas al manejo de derrames y contingencias ambientales, en las cuales se emplea agua para la limpieza y remoción de sustancias contaminantes, generando efluentes con características variables dependiendo del tipo de incidente atendido.

La identificación de estas actividades permite establecer una relación directa entre los procesos operativos del terminal y la generación de aguas residuales industriales, así como reconocer las fuentes principales de carga contaminante.

4.1.4 Ubicación Geográfica del Área de Generación de Agua Residual

La determinación de las coordenadas geográficas se realizó con el fin de georreferenciar el área de estudio y los puntos asociados al sistema de conducción y generación de aguas residuales industriales del taller de mantenimiento TPG-1, perteneciente al Terminal Portuario de Guayaquil.

La georreferenciación de los puntos permite ubicar espacialmente la infraestructura evaluada, asegurar la trazabilidad del estudio y servir como referencia técnica para

futuras actividades de monitoreo ambiental, control operativo y seguimiento del Plan de Manejo Ambiental (PMA) de la empresa.

Las coordenadas fueron obtenidas a partir de información cartográfica del plano del área operativa y corresponden a puntos representativos del sistema de conducción y del área donde se desarrollan las actividades de mantenimiento y lavado de maquinaria. El sistema de referencia utilizado es UTM WGS84, Zona 17 Sur, expresado en metros.

Los puntos identificados delimitan el área del taller de mantenimiento. Sus coordenadas se presentan en la Tabla 5 y su ubicación espacial se muestra en la Ilustración

Tabla 5

Coordenadas UTM del área de generación de aguas residuales industriales

Punto	Coordenada Norte (N)	Coordenada Este (E)
P1	9 751 574,247	619 302,358
P2	9 751 576,063	619 343,783
P3	9 751 548,173	619 343,707
P4	9 751 537,200	619 320,624

Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi

Ilustración 2

Ubicación del taller de mantenimiento dentro del Terminal Portuario



Fuente: Imagen satelital de Google Earth (2026).

4.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO ACTUAL

4.2.1 Líneas de conducción

Las aguas residuales industriales generadas en las distintas áreas operativas del terminal son recolectadas a través de un sistema de tuberías internas de conducción, el cual transporta los efluentes desde los puntos de generación hasta la unidad de pretratamiento. Estas líneas de conducción reciben aguas provenientes principalmente de las áreas de lavado de maquinaria, talleres de mantenimiento y limpieza de superficies operativas.

El sistema de conducción opera por gravedad, permitiendo el flujo continuo de las aguas residuales hacia la trampa de grasas. Durante este trayecto no se realizan procesos de tratamiento, por lo que las aguas residuales mantienen sus características físicas y químicas originales hasta su ingreso al sistema de pretratamiento. La correcta operación de estas líneas resulta fundamental para evitar acumulaciones, reboses o derrames que puedan generar impactos ambientales dentro de las instalaciones del terminal.

Ilustración 3

Área de conducción y recolección de aguas residuales hacia la trampa de grasas



Fuente: Registro fotográfico tomado por los autores en campo.

4.2.2 Sistema de Pretratamiento

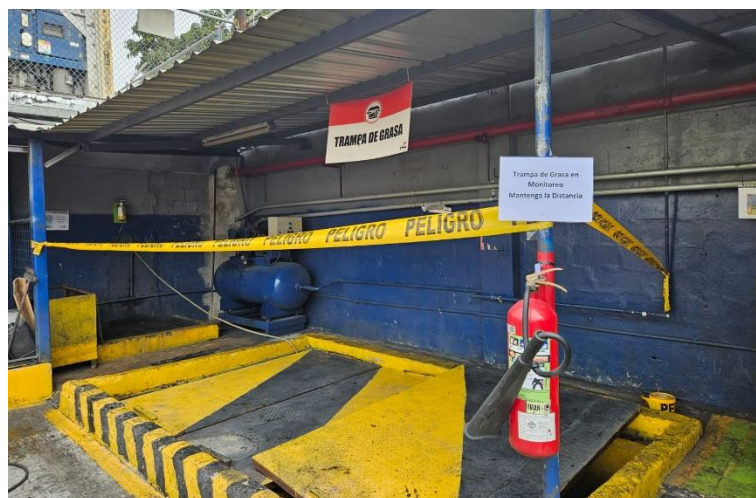
El pretratamiento de las aguas residuales industriales se realiza mediante una trampa de grasas o separador agua–aceite, cuya función principal es la retención de aceites, grasas y sólidos flotantes presentes en el efluente. Esta unidad aprovecha la diferencia de densidades entre el agua y los hidrocarburos para lograr la separación de la fracción oleosa.

En esta etapa no se aplican procesos químicos ni biológicos, limitándose el tratamiento a una separación física primaria. El efluente permanece en la trampa de grasas, donde se produce la acumulación progresiva de aguas oleosas y residuos asociados, los cuales son posteriormente gestionados como desechos peligrosos.

Debido a la variabilidad en la composición del agua residual generada por las actividades del terminal, la eficiencia del sistema de pretratamiento depende directamente de las condiciones operativas, la frecuencia de mantenimiento y la capacidad de retención de la unidad.

Ilustración 4

Trampa de grasas del taller de mantenimiento



Fuente: Registro fotográfico tomado por los autores en campo.

4.2.3 Evacuación de aguas residuales

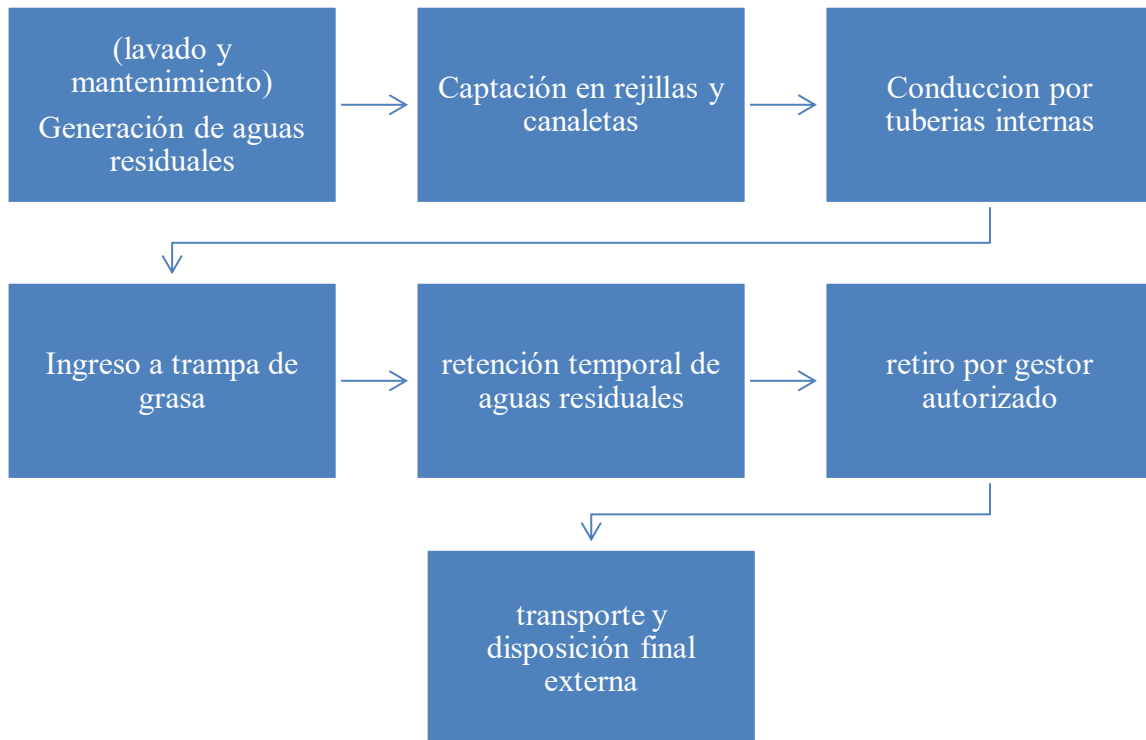
Una vez que las aguas residuales industriales han sido retenidas en la trampa de grasas, estas no son descargadas al sistema de alcantarillado, sino que permanecen almacenadas de forma temporal dentro del sistema. La evacuación del efluente se realiza de manera periódica mediante la intervención de un gestor autorizado de desechos peligrosos, quien se encarga de la recolección, transporte y disposición final de las aguas oleosas conforme a la normativa ambiental vigente.

Este esquema de evacuación permite evitar descargas directas al sistema público, sin embargo, limita la capacidad operativa del sistema y genera la necesidad de una gestión externa constante. Esta condición evidencia que el sistema actual funciona principalmente como un mecanismo de contención y manejo temporal, lo que justifica la evaluación técnica y la propuesta de optimización desarrollada en los apartados posteriores del presente capítulo.

4.2.4 Diagrama de flujo

Ilustración 5

Diagrama de flujo del sistema actual de manejo de aguas residuales industriales



Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi (2026)

4.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

4.3.1 Datos de medición y cálculo del caudal

Ilustración 6
Datos de medición y cálculo del caudal

Día	N° de lavados	Horas efectivas de lavado (h)	Caudal promedio (m³/h)	Volumen diario (m³)	Observaciones
1	2	4	1,25	5	Día operativo completo
2	1	2	1,2	2,4	Actividad moderada
3	2	3,5	1,3	4,55	Lavado prolongado
4	1	2	1,15	2,3	Baja actividad
5	2	4	1,28	5,12	Día típico
6	1	1,5	1,1	1,65	Lavado corto
7	2	3	1,35	4,05	Alta intensidad
8	1	2	1,2	2,4	Actividad regular
9	2	4	1,3	5,2	Día operativo completo
10	1	2	1,1	2,2	Baja carga
11	2	3,5	1,25	4,38	Día típico
12	1	1,5	1,05	1,58	Actividad reducida
13	2	4	1,3	5,2	Alta operación
14	1	2	1,15	2,3	Actividad moderada
15	1	1	1,1	1,1	Lavado puntual

Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi

La sumatoria de los caudales promedio registrados durante los quince días de medición fue de 18,88 m³/h. Este valor se obtuvo mediante la adición de los caudales promedio diarios (m³/h) reportados en la Tabla 6, correspondientes a cada jornada de evaluación.

Una vez obtenido el caudal promedio general del periodo evaluado:

$$Q_{prom} = \frac{18.88}{15} = 1,2587 = 1,26 \frac{m^3}{h}$$

se procede a convertir este valor a litros por segundo (L/s), ya que esta unidad nos resulta más conveniente para el análisis hidráulico y el dimensionamiento del sistema de tratamiento.

Sabemos que:

$$1m^3 = 1000L$$

$$1 h = 3600 s$$

Por lo tanto, para convertir de m³/h a L/s se aplica el siguiente factor de conversión:

$$1 \frac{m^3}{h} = \frac{1000}{3600}$$

$$1 \frac{m^3}{h} = 0,2778 \frac{L}{s}$$

Ahora, aplicando este factor al caudal promedio calculado:

$$Q_{prom} = 1,26 \frac{m^3}{h} \times 0,2778$$

$$Q_{prom} = 0,33 \frac{L}{s}$$

A partir del caudal instantáneo determinado experimentalmente, cuyo valor fue de 0,33 L/s, se realizó la proyección del volumen diario, mensual y anual de agua residual generada en el taller, considerando un tiempo máximo de lavado de 5 horas por día y 20 días operativos al mes.

Cálculo del volumen diario generado

Se convierte el caudal de litros por segundo a litros por día:

$$Q = 0.33 \frac{lt}{s} \times \frac{60 s}{1 min} \times \frac{60 min}{1 hora} \times 5 horas$$

$$Q = 5940 \frac{lt}{dia} = 5,94 \frac{m^3}{dia}$$

Cálculo del volumen mensual generado

Considerando 20 días laborales al mes:

$$Q = 5940 \frac{lt}{dia} \times 20 dias$$

$$Q = 118800 \frac{lt}{mes} = 118,8 \frac{m^3}{mes}$$

Cálculo del volumen anual generado

Considerando 12 meses al año:

$$Q = 118800 \frac{lt}{mes} \times 12 meses del año$$

$$Q = 1425600 \frac{lt}{año} = 1425 \frac{m^3}{año}$$

4.3.2 Evaluación de las variables

La evaluación de las variables del presente estudio se realizó con el propósito de analizar el comportamiento del sistema de tratamiento y verificar su efectividad en la reducción de la carga contaminante del agua residual industrial generada en el área de estudio. Para ello, se consideraron variables relacionadas con la calidad del efluente tratado, así como variables operativas asociadas al proceso de tratamiento aplicado.

Las variables físicas y químicas del agua tratada fueron evaluadas como indicadores del desempeño del sistema. El pH se analizó para verificar la estabilidad del proceso y su compatibilidad con los límites normativos para descarga a alcantarillado, observándose valores adecuados que no representan riesgo de corrosión ni afectación al sistema receptor. La conductividad eléctrica se consideró como un parámetro de control que refleja la presencia de sales disueltas y permite identificar cambios en la composición del efluente en función de las actividades operativas.

Los parámetros asociados a la carga contaminante, como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), la demanda química de oxígeno (DQO), los aceites y grasas, los tensoactivos y los hidrocarburos totales de petróleo (TPH), fueron evaluados por su relación directa con el impacto ambiental potencial del efluente. La reducción observada en estos parámetros evidencia un adecuado funcionamiento del tratamiento aplicado, especialmente en las etapas de pretratamiento, tratamiento físico-químico y filtración, las cuales contribuyen a la remoción de materia orgánica y compuestos oleosos característicos de las aguas residuales industriales del taller.

Por otra parte, las variables físicas como temperatura, color y turbidez permitieron evaluar la estabilidad general del agua tratada. La disminución de turbidez y color se interpreta como un indicador de la eficiencia del proceso de separación de sólidos y de la retención de partículas finas, lo que mejora la calidad visual del efluente y reduce la presencia de contaminantes asociados a sólidos suspendidos.

Para el análisis normativo de los resultados obtenidos, se tomó como referencia la **Tabla 8 del Acuerdo Ministerial 097-A**, correspondiente a los límites máximos permisibles para la descarga de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado público. Esta tabla establece los valores de cumplimiento para parámetros como pH, DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, hidrocarburos y

tensoactivos, entre otros. En consecuencia, la comparación de los valores del agua tratada con los límites establecidos en dicha normativa constituye el criterio técnico–legal utilizado para determinar el cumplimiento ambiental del efluente evaluado.

En conjunto, la evaluación de las variables analizadas demuestra que el sistema de tratamiento presenta un comportamiento favorable y consistente con los objetivos del estudio, permitiendo mantener la calidad del agua tratada dentro de rangos aceptables y respaldando técnicamente la propuesta de mejoras operativas orientada a optimizar el control del proceso y asegurar el cumplimiento de la normativa ambiental aplicable.

4.3.3 Parámetros físicos

Los parámetros físicos evaluados incluyeron color, turbidez y sólidos suspendidos totales (SST), los cuales son indicadores directos de la presencia de partículas y materia en suspensión.

El sistema propuesto permitió una reducción significativa de la turbidez y del color, evidenciando la efectividad de las etapas de coagulación–floculación y filtración en la remoción de partículas coloidales y material particulado fino. Asimismo, la disminución de los SST confirmó una adecuada sedimentación y retención de sólidos durante el proceso de tratamiento.

La reducción de estos parámetros mejora no solo la apariencia del agua tratada, sino también las condiciones para etapas posteriores o posibles usos del efluente.

Tabla 6*Parámetros físicos agua cruda*

Parámetro	Unidad	Valor agua Cruda	Límite Máximo permisible	Cumplimiento
Color	Pt-Co	358	-	-
Turbidez	NTU	44.4	-	-
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2360	220.0	NO CUMPLE
Sólidos disueltos totales	mg/L	2732	1600.0	NO CUMPLE

Elaborado por: Francisco Carchi y Ruth Barrera (2026)

4.3.4 Parámetros químicos

Dentro de los parámetros químicos se evaluaron pH, conductividad eléctrica, aceites y grasas, DBO₅ y DQO, los cuales permiten analizar la carga contaminante disuelta y orgánica presente en el agua.

El pH del agua tratada se mantuvo dentro de un rango adecuado, evidenciando que el ajuste aplicado durante el tratamiento permitió estabilizar las condiciones químicas del sistema. La conductividad eléctrica presentó variaciones asociadas a la adición de reactivos, sin afectar significativamente la calidad final del agua tratada.

Por otro lado, se observó una reducción de aceites y grasas, atribuida a la acción conjunta de la coagulación–floculación y la separación física de fases. Asimismo, los valores de DBO₅ y DQO disminuyeron de forma apreciable, lo que indica una remoción

parcial de la materia orgánica biodegradable y no biodegradable, reflejando la eficiencia global del sistema propuesto.

Tabla7

parámetros químicos agua cruda

Parámetros	Unidad	Valor agua cruda	Límite Máximo permisible*	Cumplimiento
pH	-	7.86	6-9	SI CUMPLE
Aceites y grasas	mg/L	>139	70	NO CUMPLE
DBO ₅	mg/L	4896	250.0	NO CUMPLE
DQO	mg/L	10200	500.0	NO CUMPLE
Oxígeno disuelto	mg/L	1	-	-
TPH	mg/L	>500	20.0	NO CUMPLE
Tensoactivos	mg/L	>42.26	2.0	NO CUMPLE

Fuente: (*) AM 097 A Anexo Tabla 8

Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi

4.3.5 Determinación de la Carga Contaminante

4.3.6.1 Formula base

$$L = \frac{C_{(mg/L)} * Q_{\left(\frac{m^3}{L}\right)}}{1000}$$

C= Concentración de parámetro

Q= Caudal

4.3.6.2 Carga contaminante solidos suspendidos totales

$$L = \frac{30_{(mg/L)} * 25,92_{\left(\frac{m^3}{d}\right)}}{1000}$$

$$L = \frac{777,6}{1000}$$

$$L = 0,78 \frac{kg}{dia}$$

4.3.6.3 Carga contaminante solidos disueltos totales

$$L = \frac{600_{(mg/L)} * 25,92_{\left(\frac{m^3}{d}\right)}}{1000}$$

$$L = \frac{15552}{1000}$$

$$L = 15,55 \frac{kg}{dia}$$

4.3.6.4 Carga contaminante DQO

$$L = \frac{120_{(mg/L)} * 25,92_{\left(\frac{m^3}{d}\right)}}{1000}$$

$$L = \frac{3110,4}{1000}$$

$$L = 3,11 \frac{kg}{dia}$$

4.3.6.5 Carga contaminante DBO

$$L = \frac{47_{(mg/L)} * 25,92_{\left(\frac{m^3}{d}\right)}}{1000}$$

$$L = \frac{1218,24}{1000}$$

$$L = 1,22 \frac{kg}{dia}$$

4.3.6.6 Carga contaminante tensoactivos

$$L = \frac{1.8_{(mg/L)} * 25.92_{\left(\frac{m^3}{d}\right)}}{1000}$$

$$L = \frac{46,656}{1000}$$

$$L = 0,047 \frac{kg}{dia}$$

4.3.6.7 Aceites y grasas

$$L = \frac{2_{(mg/L)} * 25,92_{\left(\frac{m^3}{d}\right)}}{1000}$$

$$L = \frac{51,84}{1000}$$

$$L = 0,052 \frac{kg}{dia}$$

Tabla 8*Determinación de carga contaminante*

Parámetros	Unidad	Carga contaminante
SST	Kg/día	0,78 kg/día
SDT	Kg/día	15,55 kg/día
DQO	Kg/día	3,11 kg/día
DBO ₅	Kg/día	1,22 kg/día
Tensoactivos	Kg/día	0,047 kg/día
Aceites y grasas	Kg/día	0,052 kg/día

Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi (2026)

La determinación de la carga contaminante se realizó a partir de los valores obtenidos en la caracterización del agua cruda, considerando los parámetros físicos y químicos medidos antes de la aplicación del sistema de tratamiento. Esta evaluación permitió identificar el nivel inicial de contaminación del agua y establecer una línea base para el análisis posterior de la eficiencia del sistema propuesto.

La presencia de valores elevados de sólidos suspendidos totales evidencia una carga significativa de material particulado, lo que justifica la aplicación de procesos fisicoquímicos como la coagulación, floculación y filtración. Asimismo, los valores de DBO₅ y DQO reflejan una carga orgánica relevante, asociada tanto a compuestos biodegradables como no biodegradables, lo cual influye directamente en la selección del tratamiento y en la expectativa de remoción alcanzable.

El pH del agua cruda proporciona información clave sobre la composición iónica y las

condiciones químicas iniciales del sistema, factores que inciden en la dosificación óptima de coagulantes y floculantes. Por su parte, la presencia de aceites y grasas confirma la necesidad de un tratamiento previo que favorezca su separación y reduzca su interferencia en las etapas posteriores.

En conjunto, la carga contaminante determinada evidencia que el agua cruda presenta condiciones que requieren un tratamiento adecuado para reducir su impacto ambiental y mejorar su calidad, sirviendo además como base para la comparación cuantitativa de los resultados obtenidos después del tratamiento.

4.4 TRATABILIDAD DEL AGUA

4.4.1 Capacidad del Sistema Experimental

El sistema experimental se diseñó para evaluar la tratabilidad del agua mediante pruebas de coagulación–floculación y filtración a escala de laboratorio. El montaje permitió trabajar con volúmenes de 1 Litros por ensayo, por lo que los resultados representan un comportamiento a escala experimental orientado a la selección de condiciones de tratamiento.

4.4.2 Toma de muestra

Las muestras de agua residual fueron recolectadas en el taller de mantenimiento y limpieza de maquinarias del Terminal Portuario de Guayaquil, bajo condiciones normales de operación. El muestreo se realizó en el punto de salida de la trampa de grasa, previo a cualquier etapa de tratamiento adicional, con el objetivo de caracterizar el efluente en su estado real de generación.

Se efectuó un muestreo puntual (tipo “grab sample”), utilizando envases de polietileno de alta densidad (PEAD) de 1 litro de capacidad, previamente lavados, acondicionados y enjuagados con la misma muestra antes de su llenado definitivo. Para los análisis de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) y aceites y grasas, se emplearon recipientes de

vidrio ámbar con tapa hermética, a fin de evitar la adsorción de compuestos orgánicos en las paredes del envase y minimizar la degradación por exposición a la luz.

Los parámetros de temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbidez fueron medidos in situ mediante equipos previamente calibrados, mientras que los demás análisis se realizaron en laboratorio acreditado, asegurando que el tiempo de transporte y preservación no superara las 6 horas, con el fin de reducir alteraciones por degradación biológica, volatilización o sedimentación de partículas.

Ilustración 7

Procedimiento de toma de muestra de agua residual en la trampa de grasas



Fuente: Registro fotográfico tomado por los autores en campo.

4.4.3 Tratabilidad del Agua

La tratabilidad se evaluó mediante un enfoque secuencial: acondicionamiento de pH, optimización de coagulación–floculación mediante prueba de jarras y pulido por filtración. La eficiencia se determinó comparando los valores iniciales y finales de pH, color, turbidez, conductividad, aceites y grasas, TPH, tensoactivos, SST, DQO, DBO₅.

4.4.4.1 Ajuste de Ph

El pH inicial del agua osciló entre 6,77 y 7,77. Para estandarizar el ensayo y evaluar el desempeño del coagulante, se ajustó el pH de 8 a 8.5.

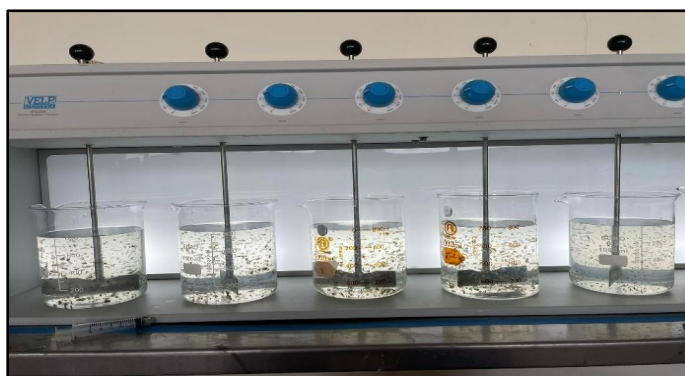
El ajuste se realizó con CAL, adicionando de forma gradual dosis entre 1ml y 3ml por litro de muestra bajo agitación para evitar sobre correcciones. Posteriormente se dejó estabilizar por 10 minutos antes de iniciar la coagulación–floculación.

4.4.4.2 Test de jarra

Se efectuó la prueba de jarras utilizando 6 vasos de 1 L. Se aplicaron dosis de coagulante al 10% (Sulfato de aluminio) en un rango de 1 ml a 4 ml y floculante al 5% (Catiónico) en un rango de 1 ml a 4 ml. La mezcla rápida se realizó a 200 rpm por 1 min, seguida de mezcla lenta a 35 rpm por 10 min, y un periodo de sedimentación de 10 min. La condición óptima se seleccionó en función de turbidez mínima, menos color, y flok más estables.

Ilustración 8

Test de jarra



Fuente: Registro fotográfico tomado por los autores en laboratorio.

Tabla9*Pruebas de Test de jarra*

Pruebas	Coagulante	Floculante	Ph Ajustado con CAL
1	3 ml	2ml	8
2	2ml	1ml	8.5
3	1ml	3ml	7,96
4	4ml	4ml	8
5	2ml	3ml	7,53
6	1ml	4ml	8

Elaborado por: Francisco Carchi y Ruth Barrera (2026)

La prueba 6 fue el que tuvo la condición más óptima.

4.4.4.3 Filtración

La filtración se aplicó al sobrenadante obtenido tras la sedimentación del test de jarras, con el fin de remover partículas remanentes. Se utilizó un sistema de filtración 3 tubos de pvc con una altura de 1,50m y un diámetro de 75 mm en los cuales se agregó carbón activado, arena de río y piedras chispas, operado con un volumen de 800 ml en un tiempo de 3 min. Se evaluó el efecto del filtrado mediante los parámetros medidos. Durante el proceso se observó que el agua salió mucho más limpia, lo cual se consideró en la interpretación de resultados.

Ilustración 9

Sistema de filtración a escala experimental con lecho de arena



Elaborado por: Francisco Carchi y Ruth Barrera (2026)

4.5 EVALUACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

La evaluación del sistema de tratabilidad de agua residual propuesto tuvo como finalidad verificar si el esquema de tratamiento seleccionado es técnicamente viable, eficiente y capaz de mejorar la calidad del agua hasta condiciones compatibles con la normativa aplicable. Este análisis resulta fundamental previo al diseño o implementación de un sistema a mayor escala, ya que permite identificar el desempeño real de cada etapa del tratamiento mediante indicadores físicos y químicos medidos experimentalmente.

La evaluación se desarrolló a partir de la comparación de la calidad del agua antes y después del tratamiento, considerando los parámetros: pH, conductividad eléctrica, color, turbidez, aceites y grasas, sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), tph y tensoactivos.

4.5.1 Caracterización del agua tratada

La caracterización del agua tratada se realizó con el objetivo de analizar los cambios producidos por el sistema propuesto y determinar el grado de mejora alcanzado en cada parámetro evaluado. Para ello, se compararon los valores obtenidos luego del tratamiento con los valores iniciales del agua residual.

4.5.1.1 Parámetros físicos

Tabla10

Parámetros físicos agua tratada

Parámetro	Unidad	Valor agua tratada	LMP	Cumplimiento
Color	Pt-Co	28	-	SI CUMPLE
Turbidez	NTU	01.6	-	SI CUMPLE
SST	mg/L	30	220.0	SI CUMPLE
SDT	mg/L	600	1600.0	SI CUMPLE

Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi, (2026)

4.5.1.2 Parámetros químicos

Tabla 11*parámetros químicos agua tratada*

Parámetros	Unidad	Valor agua tratada	LMP	Cumplimiento
pH	-	6.86	6-9	SI CUMPLE
Aceites y grasas	mg/L	<2	70	SI CUMPLE
DBO ₅	mg/L	47	250.0	SI CUMPLE
DQO	mg/L	120	500.0	SI CUMPLE
Oxígeno disuelto	mg/L	7.39	-	
TPH	mg/L	<0.2	20.0	SI CUMPLE
Tensoactivos	mg/L	1.8	2.0	SI CUMPLE

Elaborado por: Francisco Carchi y Ruth Barrera (2026)

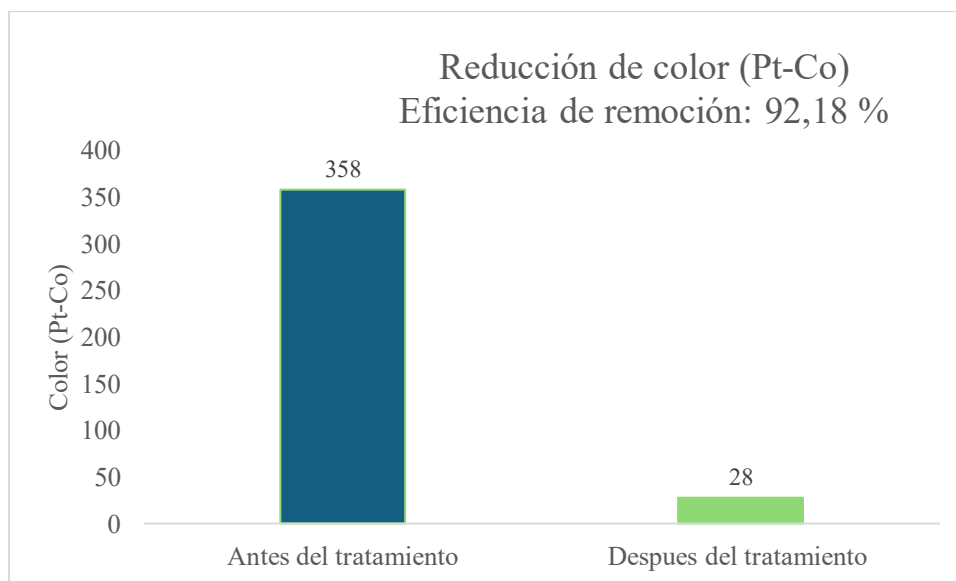
4.5.2 Análisis de los resultados del tratamiento experimental

- **Color**

El agua residual cruda presentó un valor de color elevado (358 Pt-Co), lo cual es característico de efluentes industriales asociados a actividades de lavado y mantenimiento de maquinaria, donde se incorporan partículas finas, materia orgánica y residuos de aceites y detergentes. Posterior al tratamiento, el color se redujo significativamente hasta un valor de 28 Pt-Co, evidenciando una remoción efectiva de los compuestos responsables de la coloración. Esta disminución se asocia principalmente a los procesos de coagulación–floculación, sedimentación y filtración, los cuales permiten la eliminación de sólidos y materia orgánica responsables del color aparente del agua.

Ilustración 10

Reducción de color



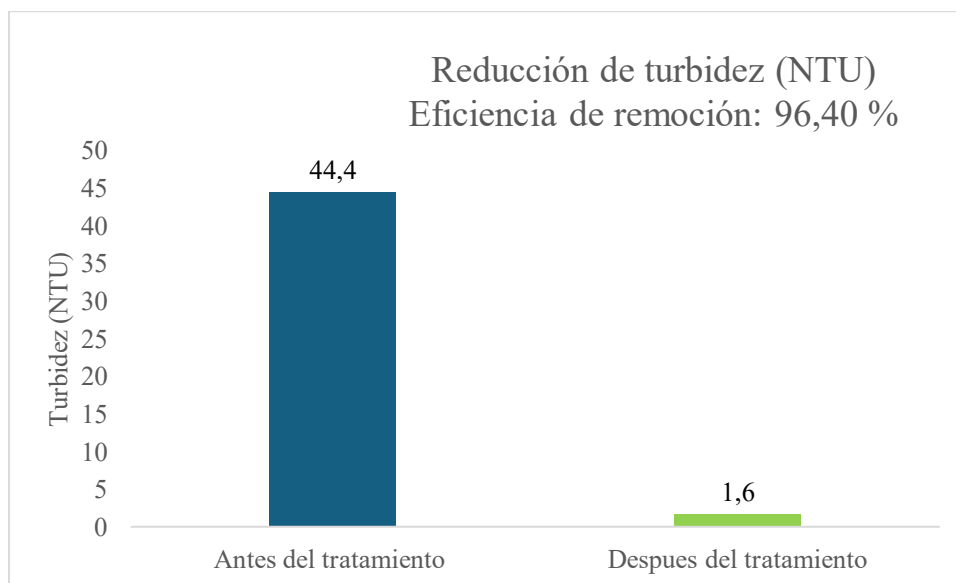
Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi (2026)

- **Turbidez**

La turbidez del agua cruda alcanzó un valor de 44.4 NTU, reflejando una alta concentración de partículas suspendidas y flóculos dispersos en el efluente sin tratar. Luego del tratamiento, la turbidez disminuyó notablemente hasta 1.6 NTU, indicando una remoción eficiente de sólidos suspendidos. Esta reducción confirma el adecuado desempeño del proceso de coagulación–floculación y de las etapas de sedimentación y filtración, las cuales contribuyen al aclaramiento del agua y a la obtención de un efluente visualmente transparente.

Ilustración 11

Reducción de turbidez



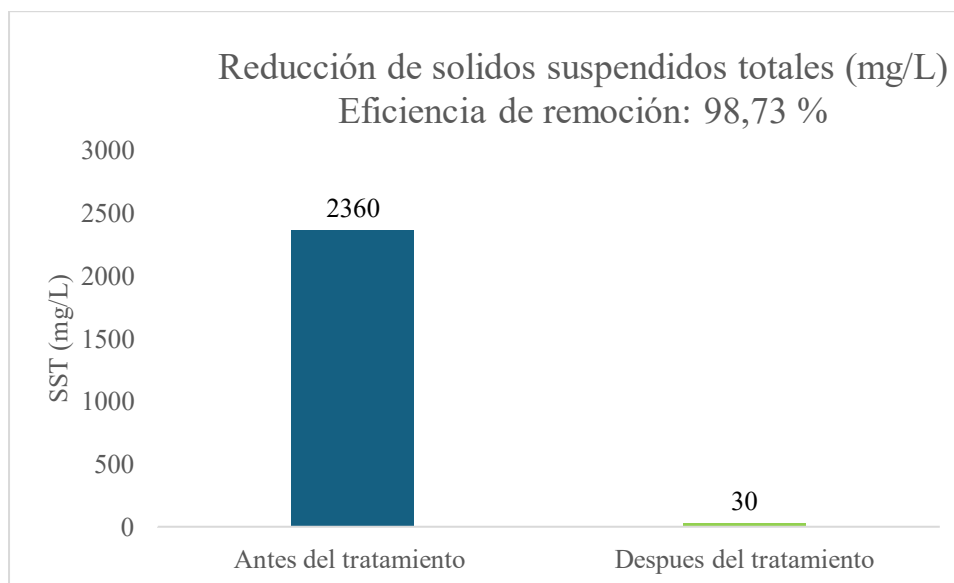
Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi (2026)

- **Sólidos suspendidos totales (SST)**

En el agua residual cruda se registró una concentración muy elevada de sólidos suspendidos totales (2360 mg/L), superando ampliamente el límite máximo permisible para descarga a alcantarillado, lo que evidencia una alta carga de material particulado asociada a las actividades operativas del taller. Tras el tratamiento, la concentración de SST se redujo a 30 mg/L, valor que se encuentra muy por debajo del límite normativo de 220 mg/L. Esta disminución significativa demuestra la alta eficiencia del tratamiento aplicado para la remoción de sólidos, principalmente a través de la coagulación–floculación, sedimentación y filtración por medios granulares.

Ilustración 12

Reducción de solidos suspendidos totales



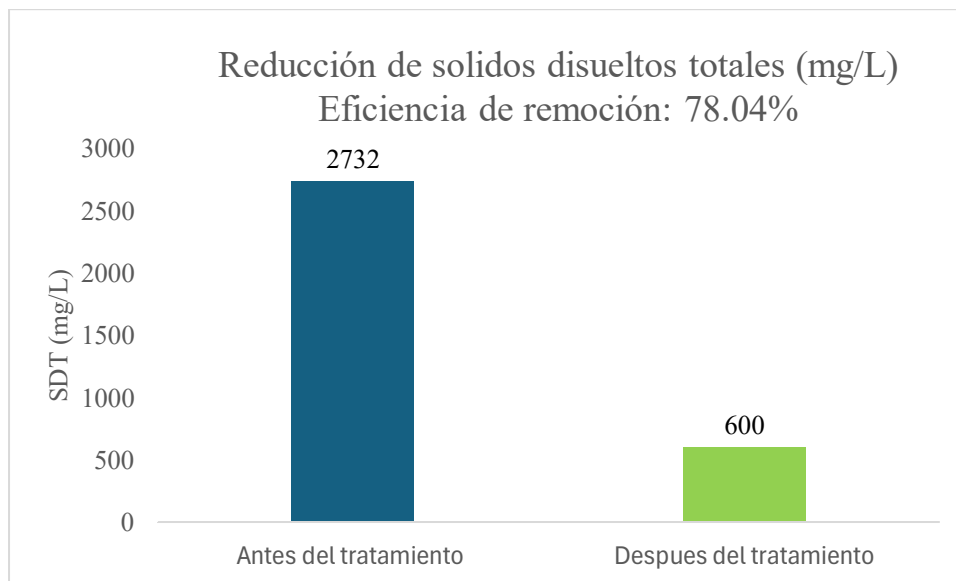
Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi (2026)

- **Sólidos disueltos totales (SDT)**

El agua cruda presentó una concentración de sólidos disueltos totales de 2732 mg/L, valor que excede el límite máximo permisible de 1600 mg/L, lo cual es consistente con la presencia de sales, detergentes y otros compuestos solubles propios de aguas residuales industriales. Posterior al tratamiento, los SDT disminuyeron hasta un valor estimado de 600 mg/L, cumpliendo con la normativa vigente. Si bien los procesos físicos y físico-químicos no eliminan completamente los sólidos disueltos, la reducción observada puede atribuirse a la remoción parcial de compuestos asociados a los sólidos suspendidos y a la adsorción de ciertos compuestos en el carbón activado, permitiendo obtener un efluente con una carga disuelta significativamente menor.

Ilustración 13

Reducción de solidos disueltos totales



Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi (2026)

- **Ph**

El pH del agua residual cruda presentó un valor de 7.86, correspondiente a un efluente ligeramente alcalino, condición común en aguas residuales industriales asociadas al uso de detergentes, desengrasantes y productos de limpieza. Tras el tratamiento, el pH disminuyó hasta un valor de 6.86, manteniéndose dentro del rango permisible establecido para descarga a alcantarillado (6–9). Esta variación es atribuible principalmente a los procesos de coagulación–floculación y a la remoción de materia orgánica y compuestos alcalinos, reflejando un adecuado control del proceso y una estabilización del pH hacia valores cercanos a la neutralidad.

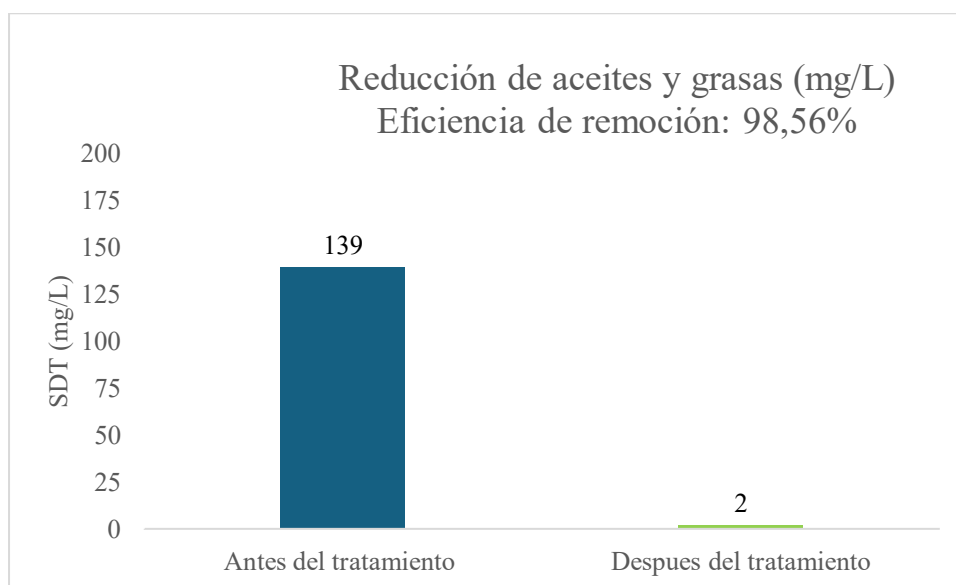
- **Aceites y grasas**

El agua cruda presentó concentraciones elevadas de aceites y grasas (>139 mg/L), superando el límite máximo permisible, lo cual evidencia la influencia directa de las actividades de lavado y mantenimiento de maquinaria en el taller. Posterior al

tratamiento, este parámetro se redujo a valores inferiores a 2 mg/L, cumpliendo ampliamente con la normativa vigente. La alta eficiencia de remoción se debe principalmente a la acción de la trampa de grasas y a los procesos físico-químicos posteriores, que permiten la separación y retención de compuestos oleosos presentes en el efluente.

Ilustración 14

Reducción de aceites y grasas



Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi (2026)

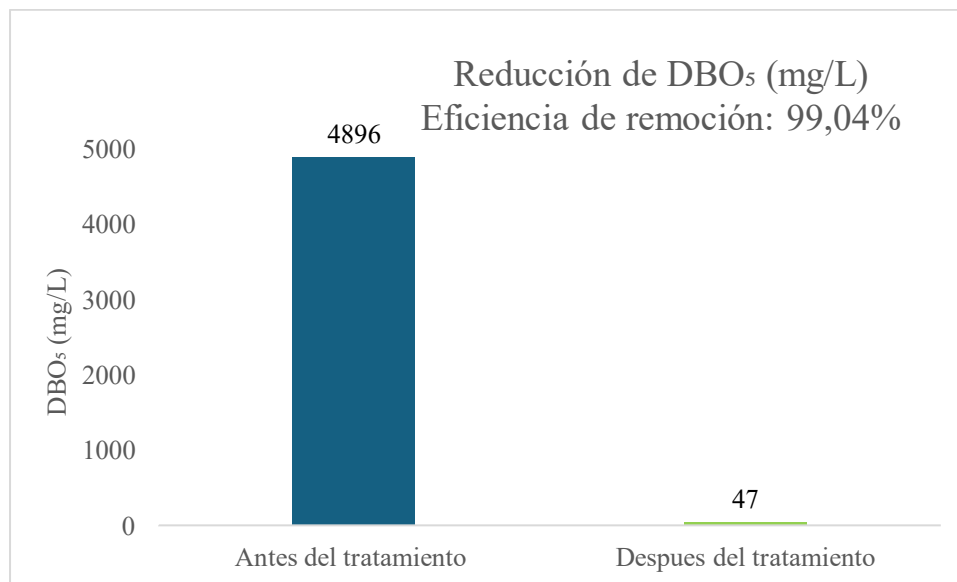
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)**

La DBO₅ del agua residual cruda alcanzó un valor muy elevado (4896 mg/L), indicando una carga orgánica considerable y una alta demanda de oxígeno para la degradación biológica de la materia orgánica presente. Luego del tratamiento, la DBO₅ disminuyó significativamente hasta 47 mg/L, valor que se encuentra muy por debajo del límite máximo permisible de 250 mg/L. Esta reducción evidencia una remoción efectiva de la materia orgánica biodegradable, atribuible a los procesos de coagulación–floculación, sedimentación y filtración, así como a la adsorción de compuestos orgánicos en el

carbón activado.

Ilustración 15

Reducción de DBO₅

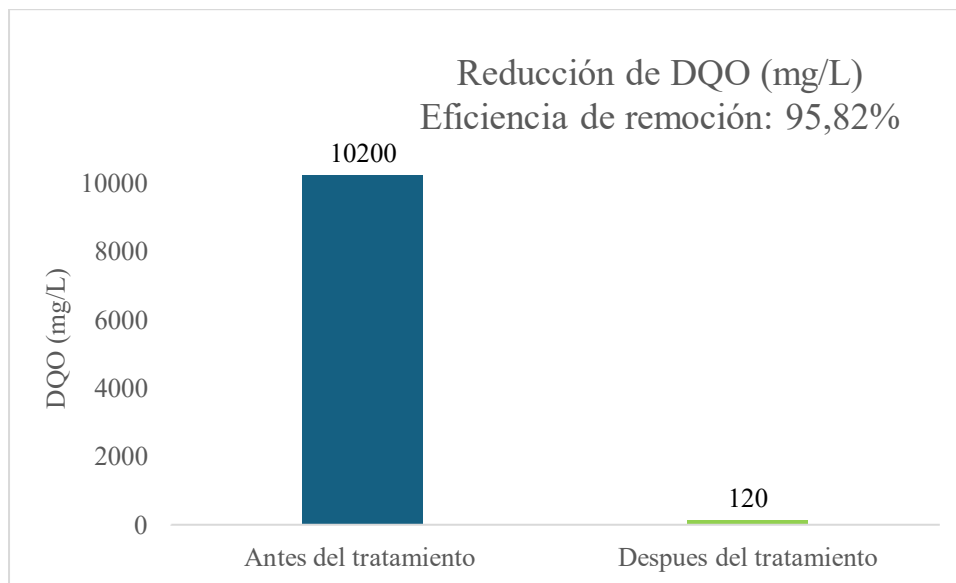


Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi (2026)

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

El valor de DQO en el agua cruda fue de 10 200 mg/L, lo que confirma la presencia de una elevada concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos oxidables, característica de aguas residuales industriales sin tratamiento. Tras el proceso de tratamiento, la DQO se redujo hasta un valor estimado de 120 mg/L, cumpliendo con el límite máximo permisible de 500 mg/L. Esta disminución sustancial demuestra la eficacia del sistema implementado para la remoción de contaminantes oxidables, incluyendo aquellos de difícil degradación biológica.

Ilustración 16
Reducción de DQO



Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi (2026)

- **Oxígeno disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto en el agua cruda presentó un valor bajo, estimado en 1 mg/L, como resultado del alto consumo de oxígeno generado por la elevada carga orgánica presente en el efluente. Posterior al tratamiento, el OD aumentó hasta 7.39 mg/L, reflejando una mejora significativa en la calidad del agua. Este incremento se asocia a la reducción de la carga orgánica, a la disminución de compuestos reductores y a la incorporación de aire durante las etapas de agitación y tratamiento, lo cual favorece la reoxigenación del efluente tratado.

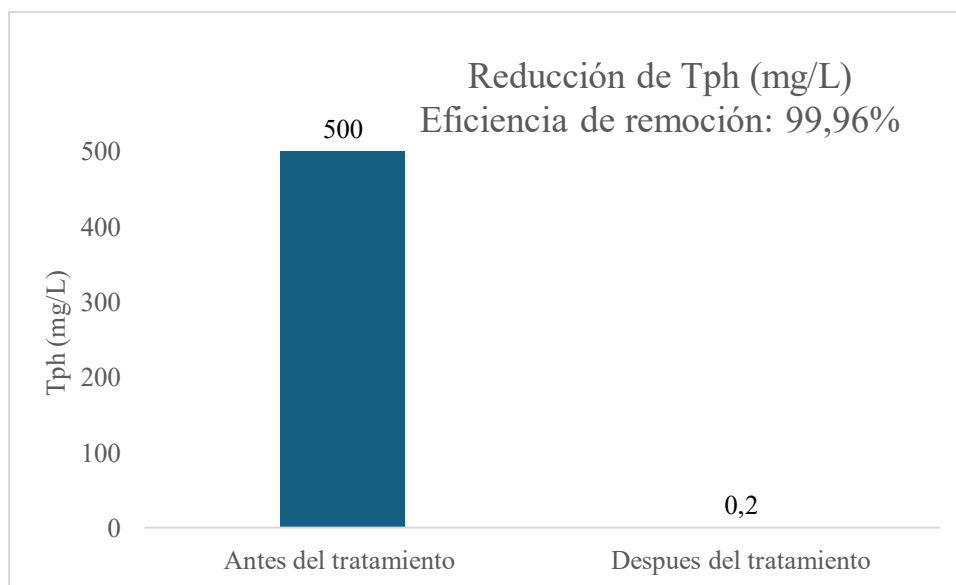
- **Hidrocarburos totales de petróleo (TPH)**

El agua residual cruda presentó concentraciones de TPH superiores a 500 mg/L, superando ampliamente el límite permisible de 20 mg/L, lo que confirma la presencia de residuos de combustibles y aceites derivados de las actividades operativas del taller. Luego del tratamiento, los valores de TPH se redujeron a concentraciones inferiores a

0.2 mg/L, evidenciando una remoción altamente eficiente. Esta reducción se atribuye principalmente a la trampa de grasas, a los procesos de separación físico-química y a la adsorción de hidrocarburos en el carbón activado.

Ilustración 17

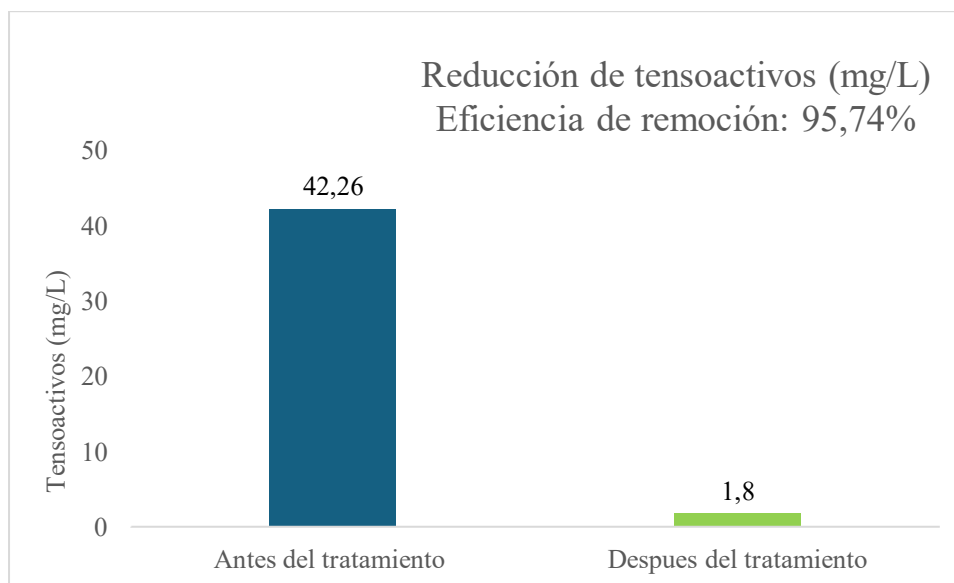
Reducción de Tph



Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi (2026)

- **Tensoactivos**

En el agua cruda se registraron concentraciones elevadas de tensoactivos (>42.26 mg/L), superando el límite máximo permisible, debido al uso frecuente de detergentes y agentes de limpieza en las actividades de lavado. Posterior al tratamiento, la concentración de tensoactivos disminuyó hasta 1.8 mg/L, valor que cumple con la normativa establecida. Esta reducción se explica por la combinación de procesos de coagulación-floculación, sedimentación y filtración, así como por la capacidad adsorbente del carbón activado, que favorece la remoción de estos compuestos.

Ilustración 18*Reducción de tensoactivos*

Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi (2026)

4.5.3 Evaluación de la eficiencia de remoción

La eficiencia del sistema se evaluó mediante el cálculo del porcentaje de remoción para cada parámetro analizado, comparando los valores antes y después del tratamiento según la siguiente relación:

Tabla12*Porcentaje de remoción*

No	Parámetros	Unidad	Valor inicial	Valor final	%remoción
1	Color	Pt-Co	358	28	92.18 %
3	Turbidez	NTU	44.4	1.6	96.40 %
5	Sólidos suspendidos totales	mg/L	2360	30	98.73 %
6	Sólidos disueltos totales	mg/L	2732	600	78.04 %
7	Aceites y grasas	mg/L	139	2	98.56 %
8	DBO ₅	mg/L	4896	47	99.04 %
9	DQO	mg/L	10200	120	95.82 %
10	Tph	mg/L	500	0.2	99.96 %
11	Tensoactivos	mg/L	42.26	1.8	95.74 %

Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi

4.6 EVALUACIÓN OPERATIVA

La evaluación operativa del sistema propuesto se desarrolló con el objetivo de analizar su factibilidad de implementación y operación bajo condiciones reales de funcionamiento, considerando aspectos como la disponibilidad y reposición de insumos, la simplicidad del esquema de operación, la estabilidad del proceso y los requerimientos asociados al mantenimiento preventivo. Este análisis permite determinar la capacidad del sistema para operar de forma continua, controlada y segura, minimizando la dependencia de equipamiento complejo o personal altamente especializado.

Asimismo, la evaluación operativa considera la adaptabilidad del sistema frente a la

variabilidad en la generación del agua residual industrial, propia de las actividades del área de estudio, así como la facilidad para realizar ajustes operativos en función de cambios en la calidad del afluente. Desde este enfoque, el sistema propuesto se analiza como una alternativa técnicamente viable, orientada a optimizar el desempeño del tratamiento mediante prácticas operativas sencillas, reproducibles y compatibles con la disponibilidad de recursos técnicos y humanos del entorno operativo.

4.6.1 Disponibilidad de insumos

La operación del sistema experimental propuesto depende de insumos químicos (coagulantes y floculantes) y de medios filtrantes (arena de río, piedra chispa y carbón activado). Adicionalmente, se requieren materiales auxiliares para la preparación y dosificación de reactivos, así como elementos de soporte para el funcionamiento continuo del montaje.

- **Coagulantes y floculantes**

Los coagulantes y floculantes requeridos para el sistema propuesto se encuentran disponibles en la ciudad de Guayaquil y a nivel nacional a través de proveedores de productos químicos industriales y de tratamiento de agua, tales como Veolia Ecuador, Química Universal S.A., Quifatex Industrial y Ecuachem S.A., así como distribuidores autorizados que abastecen al sector industrial y portuario, lo que garantiza una disponibilidad continua de estos insumos en el mercado local.

- **Insumos para dosificación (preparación y medición)**

Los insumos utilizados para la preparación, medición y dosificación de reactivos se encuentran ampliamente disponibles en Guayaquil mediante casas comerciales de

equipos y materiales de laboratorio y distribuidores de suministros técnicos, entre los que se incluyen Labser S.A., Merck Ecuador (a través de distribuidores nacionales), Fisher Scientific (representantes locales) e Indura Ecuador, sin que su adquisición represente una limitación logística para la implementación del sistema.

- **Arena de río**

La arena de río utilizada como medio filtrante presenta alta disponibilidad en Guayaquil y en la región Costa, siendo comercializada por empresas proveedoras de agregados y materiales de construcción como Holcim Ecuador, Agregados del Guayas y distribuidores locales ubicados principalmente en zonas industriales como la Vía a Daule, lo que permite su adquisición inmediata para fines experimentales.

- **Piedra chispa**

La piedra chispa se encuentra disponible de forma permanente en el mercado local a través de empresas dedicadas a la comercialización de agregados pétreos, entre las cuales se incluyen Holcim Ecuador, Agregados del Guayas y distribuidores de áridos localizados en la Vía Perimetral y Vía a Daule, garantizando su fácil acceso y abastecimiento continuo.

- **Carbón activado**

El carbón activado se encuentra disponible en Ecuador mediante proveedores especializados en insumos para tratamiento de agua y productos químicos industriales, con presencia en Guayaquil, tales como Veolia Ecuador, Química Universal S.A., Carbotecnia Ecuador y Ecuachem S.A. Su comercialización se realiza tanto de manera

local como bajo pedido directo, lo que permite asegurar su disponibilidad para la operación del sistema propuesto.

4.6.2 Simplicidad operativa

El sistema propuesto se caracteriza por una operación sencilla, lo que representa una ventaja importante frente a sistemas más complejos.

- **Automatización**

El sistema no requiere un alto nivel de automatización, ya que la mayoría de las operaciones pueden realizarse de forma manual o semiautomática. Esto reduce los costos de implementación y facilita su aplicación en instalaciones con infraestructura limitada.

- **Nivel de control requerido**

El control operativo se centra en el ajuste de pH, la dosificación de reactivos y el seguimiento de parámetros básicos como turbidez y color. Estos controles pueden realizarse con equipos de medición convencionales, sin necesidad de instrumentación avanzada.

- **Capacitación del personal**

La operación del sistema no demanda personal altamente especializado. Una capacitación básica en manejo de reactivos, control de procesos y seguridad es suficiente para garantizar un funcionamiento adecuado, lo que incrementa la factibilidad del sistema en contextos reales

4.6.3 Requerimientos de mantenimiento

El mantenimiento del sistema propuesto es relativamente simple, lo cual contribuye a su sostenibilidad operativa.

• Lavados de filtros

Los filtros requieren lavados periódicos para evitar la colmatación y mantener la eficiencia del proceso. La frecuencia de lavado dependerá de la carga de sólidos del agua tratada y del tiempo de operación del sistema, establecido cada 100 horas de trabajo que para nuestro caso viene a ser una vez al mes.

• Cambio de medios filtrantes

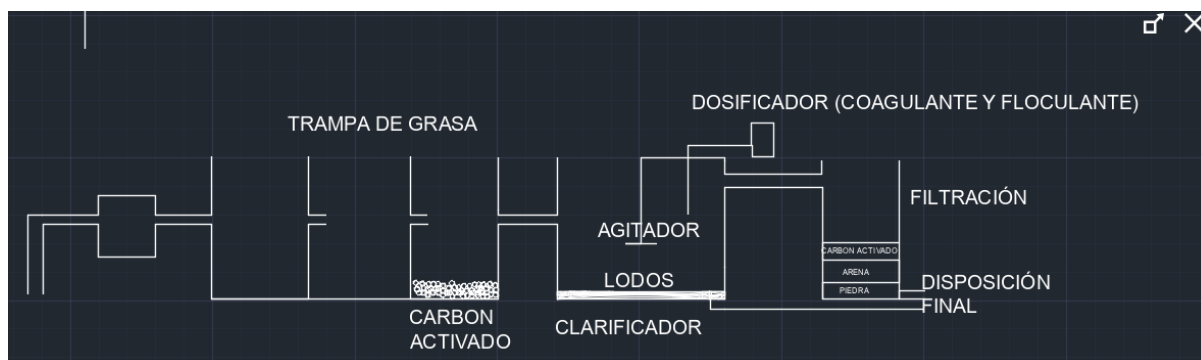
El reemplazo de los medios filtrantes, como arena o carbón activado, debe realizarse de forma periódica según el grado de saturación observado. Este mantenimiento es sencillo, aunque debe considerarse dentro de la planificación operativa del sistema.

El carbón debe cambiarse cada 3 meses, la arena cada año y la piedra cada 2 años.

4.7 diagrama de sistema propuesto de tratamiento de aguas residuales

Ilustración 19

Diagrama de sistema propuesto



Elaborado por: Francisco Carchi y Ruth Barrera (2026)

El sistema opera mediante un tratamiento físico-químico en serie, donde cada unidad cumple una función específica en la remoción progresiva de contaminantes.

- Trampa de grasa – Separación primaria

El agua residual proveniente del taller ingresa primero a la trampa de grasa.

Aquí ocurre una separación por diferencia de densidades.

Los aceites y grasas, al ser menos densos que el agua, flotan.

Los sólidos pesados sedimentan en el fondo.

Resultado:

Se reduce la carga de aceites y grasas libres y se protege el sistema posterior.

- Dosificación de coagulante y floculante

Luego, el agua pasa a la etapa de coagulación–floculación.

Se adiciona un coagulante (ej. policloruro de aluminio o sulfato férrico).

Este neutraliza las cargas eléctricas de las partículas coloidales.

Posteriormente se añade un floculante que agrupa las partículas formando flóculos más grandes y pesados.

Resultado:

Las partículas finas que no sedimentaban ahora pueden removerse fácilmente.

- Clarificador – Sedimentación

El agua entra al clarificador.

Los flóculos formados sedimentan por gravedad.

Se genera un lodo en el fondo.

El agua clarificada sale por la parte superior.

- Filtración granular – Pulimiento final

Finalmente, el efluente pasa por un filtro compuesto por:

- ✓ Piedra (soporte)
- ✓ Arena (remoción de partículas finas)
- ✓ Carbón activado (adsorción de compuestos orgánicos)

Se retienen partículas remanentes.

El carbón activado adsorbe compuestos orgánicos disueltos e hidrocarburos.

El sistema funciona mediante una remoción progresiva de contaminantes: primero se separan aceites y grasas libres, luego se desestabilizan y aglomeran partículas mediante coagulación–floculación, posteriormente se sedimentan en el clarificador y finalmente se realiza un pulimiento mediante filtración granular con carbón activado, garantizando un efluente con menor carga contaminante y mayor cumplimiento normativo.

Los lodos que se generan en cada una de las fases son finalmente entregados al gestor.

4.8 ANALISIS COSTO BENEFICIO

La evaluación costo beneficio se desarrolló para estimar la viabilidad de la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales, para lo cual se estableció como tiempo de evaluación 1 año.

4.8.1 Costos de inversión

En este caso, la inversión se concentra en: estructura/recipientes de los filtros, medios filtrantes, elementos de dosificación y equipos de medición

Tabla 13*Costos de inversión*

Ítem	Cantidad	Costo unit. (USD)	Subtotal (USD)
Tanque de mezcla rápida (PEAD/fibra, estándar)	1	2 200	2 200
Tanque de floculación-sedimentación	1	3 800	3 800
Sistema de filtración (estructura + medios)	1	2 500	2 500
Bomba de impulsión industrial	1	900	900
Dosificador de coagulante	1	1000	1 000
Dosificador de floculante	1	2 000	2 000
Tuberías, válvulas y accesorios		1 200	1200
Obras civiles menores y montaje		1 500	1 500
Instrumentación básica (pH-metro, control)		650	650
Tanques de preparación de químicos	2	350	700
Subtotal estructura			16.500

Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi

4.8.2 Insumos para dosificación y preparación

4.8.2.1 Cantidad de coagulante

A partir de la dosis óptima obtenida que fue de 1 ml de Coagulante con una concentración del 10% obtenemos el consumo de coagulante para el caudal de agua residual del año.

- Cálculo de los Volumen de coagulante proyectado consumir por año:

$$\frac{1 \text{ lt}}{118800 \text{ lt}} \times \frac{1 \text{ ml}}{X} = 118800 \text{ ml} = 118.8 \frac{\text{lt}}{\text{mes}} = 1425.6 \frac{\text{lt}}{\text{año}}$$

- Cálculo de la masa de Sulfato de Aluminio requerida para el Volumen de solución al 10%:

En virtud que la concentración de la solución es al 10%, se requerirá 10 kg de sulfato de aluminio por cada 100 litros de solución

$$\frac{100 \text{ L}}{1425.6 \text{ lt}} \times \frac{10 \text{ kg}}{X} = 142.6 \text{ Kg de coagulante usado al año}$$

- Cálculo del costo del Sulfato de Aluminio usado en el año:

1Kg de coagulante en el mercado vale \$5

$$142.6 \text{ Kg} \times \$5 = \$713 \text{ al año}$$

4.8.2.2 Cantidad de floculante

A partir de la dosis óptima obtenida que fue de 4 ml de Coagulante con una concentración del 5% obtenemos el consumo de floculante para el caudal de agua

residual del año.

- Cálculo de los Volumen de floculante proyectado consumir por año:

$$\frac{1 \text{ lt}}{118800 \text{ lt}} \times \frac{4 \text{ ml}}{X} = 475200 \text{ ml} = 475.2 \frac{\text{lt}}{\text{mes}} = 5702.4 \frac{\text{lt}}{\text{año}}$$

- Cálculo de la masa de floculante requerida para el Volumen de solución al 5%:

En virtud que la concentración de la solución es al 5%, se requerirá 5 kg de floculante por cada 100 litros de solución

$$\frac{100 \text{ L}}{5702.4 \text{ lt}} \times \frac{5 \text{ kg}}{X} = 285.12 \text{ kg de floculante usado al año}$$

- Cálculo del costo del floculante usado en el año:

1 Kg de Floculante en el mercado cuesta \$9.08

$$285.12 \text{ kg} \times \$10 = \$2851.2 \text{ al año}$$

4.8.2.3 Cal

A partir de la dosis óptima obtenida que fue de 1 ml de Cal con una concentración del 10% obtenemos el consumo de cal para el caudal de agua residual del año.

- Cálculo de los Volumen de cal proyectado consumir por año:

$$\frac{1 \text{ lt}}{118800 \text{ lt}} \times \frac{1 \text{ ml}}{X} = 118800 \text{ ml} = 118.8 \frac{\text{lt}}{\text{mes}} = 1425.6 \frac{\text{lt}}{\text{año}}$$

- Cálculo de la masa de cal requerida para el Volumen de solución al 10%:

En virtud que la concentración de la solución es al 10%, se requerirá 10 kg de floculante por cada 100 litros de solución

$$1425.6 \frac{\text{lt}}{\text{año}} \times \frac{10 \text{ kg}}{100 \text{ lt}} = 142.56 \text{ Kg de Cal usado al año}$$

- Cálculo del costo de la cal usada en el año

1 kg de cal en el mercado vale \$0.24

$$142.56 \text{ Kg} \times \$0.24 = \$34.21 \text{ al año}$$

Tabla14

Insumos para dosificación y preparación

Ítem	Costo estimado anual (USD)
Coagulante (sulfato de aluminio)	713
Floculante (polímero)	2851.2
Reactivo para ajuste de pH (cal)	34.21
Total	1032.33

Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi

4.8.3 Costos de operación

Los costos de operación del sistema propuesto consideran aquellos rubros necesarios para mantener el funcionamiento continuo del tratamiento, principalmente la reposición periódica de medios filtrantes, el consumo de energía eléctrica y el mantenimiento preventivo. Estos costos son complementarios a los insumos químicos de dosificación y preparación descritos en el apartado 4.6.2, y permiten estimar de manera realista la

operación del sistema a escala de implementación en el taller del terminal portuario.

a) Reposición de medios filtrantes

La reposición de medios filtrantes se considera como un costo operativo debido a que ciertos materiales, especialmente el carbón activado, se saturan con el uso y requieren reemplazo periódico para mantener la eficiencia del sistema.

Tabla 15

Costos estimados de reposición de medios filtrantes

Item	Medio filtrante	Frecuencia estimada	Costo por recambio	Costo anual estimado
1	carbón activado	Trimestral	600	2400
2	arena de rio	Anual	8	8
3	piedra chispa	Bianual	10	10
Total de costos anuales:				2418

Elaborado por: Ruth Barrera y Francisco Carchi

- Considerando un caudal promedio de 5,94 m³/día y una cama filtrante de 0,20 m³ de carbón activado granular, se estima una carga aproximada de 100 kg por recambio. Bajo condiciones de operación continua en el taller, el carbón presenta una saturación promedio trimestral, por lo que se establece una frecuencia de reposición de cuatro veces por año. Con un costo referencial de 6 USD/kg en el mercado local, el costo anual estimado por reposición de carbón activado asciende a aproximadamente 2 400 USD.

b) Consumo de energía eléctrica

El consumo energético del sistema se asocia principalmente al funcionamiento de equipos de bombeo y dosificación. Considerando un escenario promedio de operación diaria, el costo anual de energía se estima como un valor operativo fijo y necesario para el funcionamiento del tratamiento.

Tabla 16

Costo estimado de energía eléctrica

Concepto	Supuesto operativo	Costo mensual estimado	Costo anual estimado
Energía eléctrica del sistema	Operación promedio del sistema	100	1200

Elaborado por: Francisco Carchi y Ruth Barrera (2026)

c) Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo contempla actividades básicas para asegurar el correcto desempeño del sistema, tales como limpieza de tanques, revisión de bombas, inspección de tuberías y válvulas, y verificación de equipos de medición. Este rubro permite reducir fallas y prolongar la vida útil de los componentes instalados.

Tabla 17

Costo estimado de mantenimiento preventivo

Actividad	Frecuencia	Costo anual estimado
Mantenimiento preventivo general del sistema	Anual	300

Elaborado por: Francisco Carchi y Ruth Barrera (2026)

4.8.4 Cálculo del costo anual del sistema de tratamiento actual

- **Costos de evacuación por medio de gestor autorizado**

A partir del volumen mensual de agua residual generado en el taller, el cual fue determinado como 118,8 m³/mes, se procede a calcular el costo de evacuación considerando la tarifa establecida por el gestor autorizado.

El gestor cobra \$0,33 por galón de agua residual evacuada, por lo que primero es necesario convertir el volumen mensual de metros cúbicos a galones.

Sabemos que:

$$1 \text{ galón de aguas residuales} = \$0,33 \text{ ctvs.}$$

$$1 \text{ m}^3 = 264,17 \text{ galones}$$

$$118,8 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \times 264,17 = 31.383 \frac{\text{gln}}{\text{mes}}$$

Esto significa que mensualmente se evacúan aproximadamente 31.383 galones de agua residual industrial.

Ahora, multiplicando por el valor unitario del servicio:

$$31.383 \frac{\text{gln}}{\text{mes}} \times 0,33 = \$ 10.356,39 \text{ al mes}$$

Por consiguiente, el costo mensual por evacuación de aguas residuales es de \$10.356,39.

Finalmente, para determinar el costo anual:

$$\$ 10.356,39 \text{ al mes} \times 12 \text{ meses} = \$124.276,68 \text{ al año}$$

Por lo tanto, el sistema actual de evacuación mediante gestor autorizado representa un costo aproximado de \$124.276,68 anuales, lo que evidencia un impacto económico significativo en la operación del taller.

- **Costo de limpieza anual de trampa de grasa**

Actualmente, el mantenimiento del sistema incluye la limpieza periódica de la trampa de grasa mediante un servicio externo especializado.

El costo unitario por cada limpieza es de \$150

$$\$150 \text{ al mes} \times 12 \text{ meses} = \$1.800 \text{ al año}$$

Por lo tanto, el costo anual asociado a la limpieza de la trampa de grasa asciende a \$1.800, valor que es considerado dentro de los costos operativos del sistema actual.

Resumen de costos de operación

Tabla 18

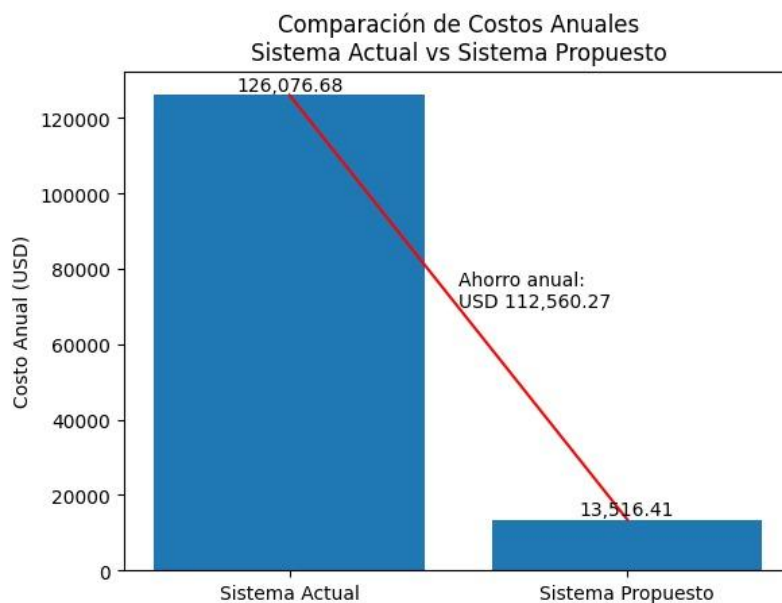
Resumen de costos de operación anual del sistema propuesto

RELACION COSTO BENEFICIO (ANUAL)			
Operación planta de tratamiento		Sistema actual	
Operador	\$ 6.000,00	Evacuación de aguas residuales con gestor	\$ 124.276,68
Energía	\$ 1.200,00	Limpieza de trampa de grasa	\$ 1.800,00
Insumos	\$ 3598,41		
reposición de medios filtrantes	\$ 2.418,00		
Mantenimiento preventivo general del sistema	\$ 300,00		
TOTAL	\$ 13.516,41		\$ 126.076,68

Elaborado por: Francisco Carchi y Ruth Barrera (2026)

Ilustración 20

Sistema actual vs sistema propuesto



Francisco Carchi y Ruth Barrera (2026)

Como podemos apreciar el beneficio de realizar la operación de tratamiento del agua residual en las propias instalaciones genera un ahorro 112.560,27 dólares anuales.

En virtud que la inversión fija inicial presenta un valor de 16.500,00 dólares, con el ahorro obtenido el retorno de la inversión sería a los siete meses, por lo que resulta bastante conveniente realizar el tratamiento del agua residual en la unidad de análisis.

4.8 EVALUACIÓN AMBIENTAL

La evaluación ambiental del sistema propuesto se realizó con el objetivo de identificar los principales impactos ambientales asociados a su operación a escala de laboratorio, considerando la generación de residuos, el consumo de recursos y los posibles efectos sobre el entorno. El análisis se enfocó en las etapas efectivamente aplicadas durante el estudio experimental.

Tabla 19*Matriz evaluación ambiental*

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	VALOR DEL IMPACTO	
		Criterio	Valor
Consumo de energía eléctrica (agitadores/bombas)	Emisión indirecta de GEI por consumo eléctrico	bajo	19
Dosificación de coagulante/floculante	Cambio leve en la calidad del efluente por manejo de químicos	bajo	19
Generación de lodos de clarificación	Riesgo de contaminación por disposición inadecuada de lodos	bajo	19
Consumo de agua de servicio/limpieza de equipos	Incremento leve del consumo de recurso hídrico	bajo	17
Ruido de equipos (agitadores/compresores)	Molestias leves en el entorno laboral	bajo	20
Retrolavado/lavado de filtros	Generación de agua residual por retrolavado	bajo	19
Consumo de energía en bombas de filtración	Emisión indirecta de GEI por consumo eléctrico	bajo	19
Cambio/reemplazo de medio filtrante	Generación de residuos sólidos (medio filtrante usado)	bajo	17
Consumo de agua para retrolavado	Incremento del consumo de agua en operación	bajo	20
Mantenimiento (lubricantes/paños contaminados)	Generación menor de residuos peligrosos (trapos, aceites)	bajo	19

Elaborado por: Francisco Carchi y Ruth Barrera (2026)

Nota: ver tabla completa en anexo 3

La matriz de evaluación ambiental elaborada para los procesos de clarificación y filtración permitió identificar diez aspectos ambientales asociados a la operación del sistema propuesto, considerando tanto el consumo de recursos como la generación de residuos y efluentes.

En el proceso de clarificación, los principales aspectos identificados fueron el consumo de energía eléctrica, la dosificación de coagulantes y floculantes, la generación de lodos, el consumo de agua de limpieza y el ruido operativo. Si bien estos generan impactos negativos, su intensidad fue clasificada entre baja y media, con extensión puntual y persistencia temporal. Esto se debe a que las actividades se desarrollan dentro de un área controlada y forman parte de una operación técnica regulada.

En el caso de la filtración, se identificaron impactos asociados al retrolavado de filtros, consumo energético, reposición de medio filtrante, consumo de agua y generación de residuos menores por mantenimiento. Aunque algunos presentan carácter acumulativo (como el agua de retrolavado), su efecto fue evaluado como controlable y mitigable mediante buenas prácticas operativas.

Los valores obtenidos en la evaluación (entre 17 y 20 puntos) clasifican todos los impactos como bajos, de acuerdo con la metodología aplicada. Esto indica que:

- No se generan alteraciones significativas al entorno.
- Los impactos son reversibles en el corto plazo.
- Son mitigables mediante controles operacionales adecuados.
- No presentan sinergias críticas ni efectos irreversibles.

En consecuencia, el sistema de tratamiento propuesto para el taller presenta una viabilidad ambiental favorable, ya que los impactos identificados son de baja magnitud y pueden ser gestionados mediante medidas preventivas y correctivas dentro del plan

de manejo ambiental.

4.9 ANÁLISIS DE RIESGOS

Tabla 20

Actividades análisis de riesgo

Actividad / etapa	Peligro o evento	Probabilidad	Severidad	Nivel (según matriz)	Controles/medidas básicas
Toma de muestra	Exposición por contacto/olores	Baja	Media	TOLERABLE	EPP, ventilación, tiempos cortos de exposición
Manipulación de coagulante (preparación)	Salpicadura/irritación química	Baja	Alta	MODERADO	EPP, preparación en área controlada, ducha/lavajojos (si aplica)
Manipulación de floculante (preparación)	Derrame/superficie resbalosa	Baja	Media	TOLERABLE	Bandeja de contención, limpieza inmediata, guantes
Dosificación de reactivos	Dosificación incorrecta (sobredosis)	Baja	Baja	BAJO	Procedimiento, medición con probetas, verificación
Mezcla/coagulación	Formación de aerosoles/salpicaduras	Baja	Media	TOLERABLE	Tapas, operación lenta, EPP
Floculación	Atascos / desborde por mala agitación	Baja	Media	TOLERABLE	Control de agitación, supervisión
Sedimentación/descantación	Descarga accidental de lodos	Baja	Baja	BAJO	Válvulas identificadas, procedimiento de purga
Manejo interno de lodos	Contacto con lodo/contaminación	Media	Alta	BAJO	EPP reforzado, recipientes cerrados, limpieza del área
Transporte de recipientes con agua residual	Derrame en traslado	Baja	Media	TOLERABLE	Tapas, bandejas, rutas seguras

Actividad / etapa	Peligro o evento	Probabilidad	Severidad	Nivel (según matriz)	Controles/medidas básicas
Medición de parámetros	Error de medición (equipo sin calibrar)	Media	Baja	TOLERABLE	Calibración, registros, verificación
Toma de muestra (agua tratada)	Contaminación cruzada de envases	Baja	Baja	BAJO	Envases limpios, rotulado, cadena de custodia
Filtración (arena)	Colmatación/caída de eficiencia	Baja	Baja	BAJO	Retrolavado/limpieza, mantenimiento programado
Filtración (carbón activado)	Saturación del medio (pierde remoción)	Baja	Media	TOLERABLE	Control de reemplazo, registros
Retrolavado/limpieza de filtros	Proyección de agua y suciedad	Baja	Baja	BAJO	EPP, presión controlada, área delimitada
Reemplazo de medios filtrantes	Manipulación manual/carga física	Baja	Baja	BAJO	Técnica de levantamiento, ayudas mecánicas
Mantenimiento general (desarme/armado)	Cortes/golpes con herramientas	Baja	Media	TOLERABLE	Guantes, herramientas adecuadas, orden
Trabajo en zona húmeda (cualquier etapa)	Riesgo eléctrico por equipos cercanos	Baja	Alta	MODERADO	Conexiones seguras, protección, no operar con manos mojadas

Elaborado por: Francisco Carchi y Ruth Barrera (2026)

Capítulo 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.1 Conclusiones

Se caracterizaron las aguas residuales generadas en las actividades de lavado y mantenimiento de maquinaria, mediante el análisis de parámetros físico, químicos y microbiológicos, determinando que las aguas presentan un alto nivel de contaminación logrando establecer la base técnica para su tratamiento.

El sistema actual de manejo y pretratamiento (incluida la trampa de grasa y el esquema operativo asociado) constituye una barrera inicial importante para la retención de materiales oleosos y sólidos, aportando a la protección del sistema y reduciendo riesgos de descarga de contaminantes.

La evaluación técnica realizada permitió verificar que, bajo las condiciones observadas, la calidad del efluente analizado se mantiene dentro de los parámetros esperados y compatibles con el cumplimiento normativo, lo cual refleja un manejo operativo adecuado y un control básico eficiente.

Se ejecuto la tratabilidad de las aguas residuales industriales generadas en la unidad de análisis, mediante la aplicación de diferentes tecnologías de tratamiento, logrando identificar una alternativa eficiente para la remoción de los contaminantes presentes en el agua residual.

Se Seleccionó la opción de tratabilidad óptima mediante la diferenciación de los resultados obtenidos comparando con los valores permisibles establecidos en la normativa ambiental y definir una propuesta que será presentada a las autoridades del terminal portuario.

El análisis desarrollado evidencia que es posible reducir riesgos ambientales y fortalecer el desempeño del sistema mediante mejoras operativas (más que estructurales), enfocadas en prevención, control en fuente y estandarización de prácticas.

La evaluación operativa nos muestra que la propuesta presenta ventajas como la disponibilidad de insumos, la simplicidad operativa y sencillos requerimiento de mantenimiento que no demanda de personal altamente calificado, labor que puede ser realizada por el operador.

El análisis de riesgo realizado a las actividades que generaría la implementación de la propuesta nos muestra que son considerados bajos, tolerables y moderados.

La propuesta planteada en el trabajo se considera técnica y financieramente viable por los resultados obtenidos en el análisis costo beneficio lo que demuestra la utilidad de la propuesta para el contexto del terminal, ya que se orienta a optimizar la operación y fortalecer el control, sin demandar cambios complejos ni interrumpir significativamente las actividades del área.

5.1.2 Recomendaciones

A partir del análisis técnico realizado, los resultados obtenidos y la evaluación económica desarrollada en el presente estudio, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a fortalecer la gestión del tratamiento de aguas residuales industriales en el taller de mantenimiento del Terminal Portuario:

Se recomienda la implementación progresiva del sistema de tratamiento propuesto, priorizando la optimización del pretratamiento existente mediante la incorporación de etapas de coagulación, floculación y filtración con medios granulares y carbón activado.

Se considera necesario establecer un programa permanente de monitoreo y control operacional que incluya la evaluación periódica de parámetros físico-químicos representativos del efluente, tales como pH, DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, TPH y tensoactivos. Este seguimiento permitirá verificar la estabilidad del proceso, detectar desviaciones tempranas y ajustar oportunamente las dosis de coagulante y floculante, garantizando un desempeño constante del sistema.

Es fundamental implementar un plan de mantenimiento preventivo estructurado que contemple limpieza periódica de tanques, revisión de bombas y válvulas, verificación de equipos de dosificación y reposición oportuna del carbón activado. Dado que la eficiencia del proceso de filtración depende directamente del estado del medio adsorbente, se recomienda establecer un cronograma técnico de recambio basado en la carga tratada y no únicamente en intervalos de tiempo fijos.

Se recomienda capacitar al personal operativo en aspectos relacionados con la correcta dosificación de insumos químicos, preparación de soluciones y control de parámetros críticos. Una operación inadecuada puede comprometer la eficiencia del proceso, incrementar costos de operación y generar inestabilidad en la calidad del efluente tratado. La formación técnica continua contribuirá a optimizar el uso de insumos y mejorar el desempeño ambiental del taller.

Desde el punto de vista económico, se recomienda realizar una revisión anual de los costos de operación del sistema, considerando variaciones en precios de insumos, consumo energético y frecuencia de reposición de medios filtrantes. Esta evaluación permitirá ajustar la planificación financiera y garantizar la sostenibilidad económica de

la propuesta en el tiempo.

Finalmente, se sugiere que futuras investigaciones evalúen la posibilidad de incorporar tecnologías que permitan el reuso del agua para prevenir la escasez hídrica.

6. ANEXOS

ANEXO 1

TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

PÚBLICO

Ilustración 21

TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	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
Ci nc	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 ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	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
Mangane so total	Mn	mg/l	10,0
Me rcurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	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		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendidos Total e s	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 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

ANEXO 2

Guía para ejecución de monitoreos de aguas residuales industriales

Ilustración 22

 Dirección de Ambiente, Sostenibilidad y Cambio Climático 			
GUIA PARA EJECUCIÓN DE MONITOREOS DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES			
No.	ACTIVIDAD	FRECUENCIA DE MONITOREO	PARÁMETROS MÍNIMOS A MONITOREAR
1	ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES	TRIMESTRAL	Caudal, DQO, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, TPH, ST, SST
2	CENTRO COMERCIAL CON PATIO DE COMIDAS	MENSUAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, SS
3	CENTRO COMERCIAL SIN PATIO DE COMIDAS	SEMESTRAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, SS
4	CENTRO DE DIÁLISIS	MENSUAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos
5	CLÍNICAS Y HOSPITALES	MENSUAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos
6	CONSESIONARIAS DE VEHÍCULOS	TRIMESTRAL	Caudal, DQO, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, TPH
7	ELABORACIÓN DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS / NO ALCOHÓLICAS	MENSUAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Cloruros (Cl), Sulfatos (SO ₄), Fosforo (P), Nitrógeno Amoniacal, ST, Color Real
8	ELABORACIÓN DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN	SEMESTRAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, , Aluminio (Al), Bario (Ba), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Sulfatos (S), Fósforo total (P), Cromo hexavalente
9	ELABORACIÓN DE PAPEL, CARTÓN	MENSUAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Cromo hexavalente (Cr), Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Selenio (Se), Mercurio (Hg), Nitrógeno Total Kjeldahl (N), Cinc (Zn), Sulfatos (SO ₄)
10	ELABORACIÓN DE PRODUCTOS BALANCEADOS	MENSUAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos
11	ELABORACIÓN DE PRODUCTOS COSMÉTICOS	MENSUAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos
12	ELABORACIÓN DE PRODUCTOS PLÁSTICOS	TRIMESTRAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Cinc (Zn), Tensoactivos, Compuestos fenólicos
13	ELABORACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS	MENSUAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Cromo hexavalente (Cr), Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Selenio (Se), Mercurio (Hg), Plata (Ag), Cinc (Zn), Sulfatos (SO ₄)
14	ELABORACIÓN DE PINTURAS, SOLVENTES, BARNICES Y REVESTIMIENTO	MENSUAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Mercurio (Hg), Plomo (Pb)
15	ELABORACIÓN, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGROQUÍMICOS, PLAGUICIDAS	SEMESTRAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Carbamatos, Compuestos organoclorados y organofosforados
16	EMPACADORAS DE PRODUCTOS ACUICOLAS	MENSUAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Nitrógeno Total Kjeldahl (N), Fósforo Total (P), Cloruros (Cl), Sulfatos (SO ₄), Sulfuros (S), Compuestos Fenólicos
17	ESTACIONES DE SERVICIOS	SEMESTRAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Sulfatos (SO ₄), Compuestos fenólicos, Plomo (Pb), Bario (Ba), Cromo (Cr), Vanadio (V), TPH

18	FABRICACIÓN DE ACUMULADORES Y PILAS ELÉCTRICAS	MENSUAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Cadmio (Cd), Compuestos fenólicos, Cianuro, Cobre (Cu), Cinc (Zn), Hierro Total (Fe), Cromo hexavalente, Plomo (Pb), Níquel (Ni), Mercurio (Hg), Cadmio (Cd)
19	FABRICACIÓN DE APARATOS ELECTRODOMESTICOS	MENSUAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Cinc (Zn), Cobalto Total (Cu), Plomo (Pb), Tricloroetileno
20	FABRICACIÓN DE FORMAS BÁSICAS DE CAUCHO	SEMESTRAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Cinc (Zn), TPH
21	FABRICACIÓN DE HILOS Y CABLES AISLADOS	SEMESTRAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Cadmio (Cd), Compuestos fenólicos, Cianuro, Cobre (Cu), Cinc (Zn), Hierro Total (Fe), Cromo hexavalente, Plomo (Pb), Níquel (Ni), Mercurio (Hg), Cadmio (Cd)
22	FINCAS BANANERAS	SEMESTRAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Nitrógeno Total Amoniacal (N), Fósforo Total (P), Compuestos organoclorados y organofosforados
23	HOTELES CAPACIDAD <50 HABITACIONES (BAJO IMPACTO /REGISTRO AMBIENTAL)	SEMESTRAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Coliformes fecales, SS,
24	HOTELES CAPACIDAD >50 HABITACIONES (ALTO IMPACTO /LICENCIA AMBIENTAL)	MENSUAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Coliformes fecales, SS,
25	IMPRESIÓN DE PERIODOS Y REVISTAS	MENSUAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Cromo hexavalente (Cr), Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Selenio (Se), Mercurio (Hg), Nitrógeno Total Kjeldahl (N), Cinc (Zn), Sulfatos (SO4),

**Fuente: Dirección de ambiente sostenibilidad y cambio climático de la Muy ilustre
Municipalidad de Guayaquil.**

Anexo 3 Matriz de evaluación de aspectos ambientales

Ilustración 23

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES																									
Lugar	TERMINAL PORTUARIO DE GUAVAQUIL	Dirección	GUAVAQUIL		Fecha	27/1/2016	FACTORES										VALOR DEL IMPACTO								
							INTENSIDAD	EXTENSIÓN		MOMENTO		PERSISTENCIA		REVERSIBILIDAD		SINERGIAS		ACUMULACIÓN		EFECTO		PERIODICIDAD		RECUPERABILIDAD	
ACTIVIDAD	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	Carácter de Impacto	Valor	Criterio	Valor	Criterio	Valor	Criterio	Valor	Criterio	Valor	Criterio	Valor	Criterio	Valor	Criterio	Valor	Criterio	Valor	Criterio	Valor	Criterio		
1	Consumo de energía eléctrica (agitadores/bombas)	Emisión indirecta de GEI por consumo eléctrico	Negativo	Baja	1	Puntual	1	Inmediato	3	Temporal	2	Corto plazo	1	Sin sinergia	1	Simple	1	Indirecto	1	Periódico	2	Mitigable	3	bajo	19
2	Dosificación de coagulante/floculante	Cambio leve en la calidad del efluente por manejo de químicos	Negativo	Baja	1	Puntual	1	Inmediato	3	Temporal	2	Corto plazo	1	Sin sinergia	1	Simple	1	Indirecto	1	Periódico	2	Mitigable	3	bajo	19
3	Clarificación	Generación de lodos de clarificación	Negativo	Baja	1	Puntual	1	Mediano plazo	2	Temporal	2	Mediano plazo	2	Sin sinergia	1	Simple	1	Indirecto	1	Periódico	2	Mitigable	3	bajo	19
4	Consumo de agua de servicio (limpieza de equipos)	Incremento leve del consumo de recurso hídrico	Negativo	Baja	1	Puntual	1	Mediano plazo	2	Temporal	2	Corto plazo	1	Sin sinergia	1	Simple	1	Indirecto	1	Ocasional	1	Mitigable	3	bajo	17
5	Ruido de equipos (agitadores/compresores)	Molestias leves en el entorno laboral	Negativo	Baja	1	Puntual	1	Inmediato	3	Temporal	2	Corto plazo	1	Sin sinergia	1	Simple	1	Directo	3	Periódico	2	Mitigable	2	bajo	20
6	Retrolavado/ lavado de filtros	Generación de agua residual por retrolavado	Negativo	Baja	1	Puntual	1	Inmediato	3	Temporal	2	Corto plazo	1	Sin sinergia	1	Simple	1	Indirecto	1	Periódico	2	Mitigable	3	bajo	19
7	Consumo de energía en bombas de filtración	Emisión indirecta de GEI por consumo eléctrico	Negativo	Baja	1	Puntual	1	Inmediato	3	Temporal	2	Corto plazo	1	Sin sinergia	1	Simple	1	Indirecto	1	Periódico	2	Mitigable	3	bajo	19
8	Cambio/reemplazo de medio filtrante	Generación de residuos sólidos (medio filtrante usado)	Negativo	Baja	1	Puntual	1	Mediano plazo	2	Temporal	2	Corto plazo	1	Sin sinergia	1	Simple	1	Indirecto	1	Ocasional	1	Mitigable	3	bajo	17
9	Consumo de agua para retrolavado	Incremento del consumo de agua en operación	Negativo	Baja	1	Parcial	2	Mediano plazo	2	Temporal	2	Corto plazo	1	Sin sinergia	1	Simple	1	Indirecto	1	Periódico	2	Mitigable	3	bajo	20
10	Mantenimiento (lubrificantes/paños contaminados)	Generación menor de residuos peligrosos (trapos, aceites)	Negativo	Baja	1	Puntual	1	Mediano plazo	2	Temporal	2	Corto plazo	1	Sin sinergia	1	Simple	1	Directo	3	Ocasional	1	Mitigable	3	bajo	19

ANEXO 4

Ilustración - Recolección de muestras

Ilustración 24



ANEXO 5

Ilustración 25



Ilustración – Test jarra

ANEXO 6
TEST DE JARRA

Ilustración 26



ANEXO 7
Ilustración – Aplicación de coagulante y floculante

Ilustración 27



ANEXO 8

Ilustración – Paso del agua por los distintos filtros

Ilustración 28



ANEXO 9

Ilustración – Caracterización del agua tratada

Ilustración 29



Anexo 10

Filtros (Carbon activado, Arena de rio y piedra chispa)

Ilustración 30



7.BIBLIOGRAFÍA

- American Petroleum Institute. (2013). *Design and operation of oil–water separators*. API Publishing Services. <https://www.api.org/products-and-services/standards>
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). APHA Press. <https://www.standardmethods.org>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Registro Oficial Suplemento No. 983, 12 de abril de 2017. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO-ORGANICO-DEL-AMBIENTE.pdf>
- Asociación Española de Normalización (UNE). (2002). *UNE-EN 858-1: Separator systems for light liquids (e.g., oil and petrol) – Principles of product design, performance and testing*. <https://www.une.org>
- Asociación Española de Normalización (UNE). (2003). *UNE-EN 858-2: Separator systems for light liquids – Selection of nominal size, installation, operation and maintenance*. <https://www.une.org>
- Crites, R., Middlebrooks, E., & Bastian, R. (2014). *Natural wastewater treatment systems*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b16669>
- Droste, R. L., & Gehr, R. (2018). *Theory and practice of water and wastewater treatment* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Edzwald, J. K. (2011). *Water quality and treatment: A handbook on drinking water* (6th ed.). McGraw-Hill.
- Environmental Protection Agency (EPA). (1993). *Method 418.1: Petroleum hydrocarbons by infrared spectrophotometry*. U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method_418-1_1993.pdf

- Environmental Protection Agency (EPA). (2004). *Wastewater technology fact sheet: Oil/water separators*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/oilwaterseparators.pdf>
- Environmental Protection Agency (EPA). (2014). *Industrial wastewater management, treatment and disposal*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/npdes/industrial-wastewater>
- European Sea Ports Organisation. (2018). *Environmental code of practice*. <https://www.espo.be/publications>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *Water pollution from industrial sources*. FAO. <https://www.fao.org/3/i7754e/i7754e.pdf>
- International Association of Ports and Harbors. (2020). *Port environmental management systems*. <https://sustainableworldports.org>
- International Finance Corporation. (2017). *Environmental, health, and safety guidelines for ports, harbors and terminals*. World Bank Group. <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/mgrt/ehs-guidelines/ehs-guidelines-ports-harbors-terminals.pdf>
- International Maritime Organization. (1973/1978). *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*. [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14001:2015 Environmental management systems — Requirements with guidance for use*. <https://www.iso.org/standard/60857.html>
- Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Burton, F. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-

Hill Education.

- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015a). *Acuerdo Ministerial No. 061*. Registro Oficial Edición Especial No. 316, 4 de mayo de 2015.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015b). *Acuerdo Ministerial No. 097-A*. Registro Oficial No. 387, 4 de noviembre de 2015.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). *Normativa de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Libro VI, Anexo 1*.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2018). *Guía técnica para el control de descargas líquidas*.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2021). *Guía para el control y seguimiento ambiental de efluentes líquidos*.
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC) science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84(1), 29–41. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(01\)00176-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(01)00176-5)
- Municipio de Guayaquil. (s.f.). *Ordenanza que regula las descargas al sistema de alcantarillado sanitario del cantón Guayaquil*. <https://www.guayaquil.gob.ec/ordenanzas/>
- PIANC. (2018). *Working with nature: Position paper*. The World Association for Waterborne Transport Infrastructure.
- PIANC. (2020). *Sustainable ports: A guide for port authorities*.
- Presidencia de la República del Ecuador. (2019). *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente*. Decreto Ejecutivo No. 752, Registro Oficial Suplemento No. 507.
- Saengsupavanich, C. (2009). Environmental performance evaluation of an industrial port and estate: ISO 14001, port state control-derived indicators. *Journal of Cleaner Production*, 17(2), 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.03.018>

- Spellman, F. R. (2014). *Industrial wastewater treatment, operation, and maintenance*. CRC Press.
- United Nations Environment Programme. (2019). *Guidelines for wastewater management in industrial and port areas*. UNEP.
- United Nations Environment Programme. (2021). *Wastewater: From waste to resource*. UNEP.
- United Nations Industrial Development Organization. (2011). *Industrial wastewater treatment and reuse*. UNIDO.
- World Bank. (2019). *Good practice note: Managing industrial wastewater*. World Bank Group.
- World Bank Group. (2017). *Port reform toolkit: Environmental management*.
- World Health Organization. (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater*. WHO.
- World Health Organization. (2018). *Guidelines on sanitation and health*. WHO.