



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA
INDUSTRIA CORRUGADORA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Ambiental**

**AUTORES: JULIO DAVID CAICEDO CAMPOS
ANTHONY JOEL CAMPOS ESPINOZA**

TUTOR: ING. VIRGILIO ALONSO ORDOÑEZ RAMÍREZ, PHD.

Guayaquil - Ecuador

2025

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

Nosotros, **Julio David Caicedo Campos** con documento de identificación No. **0951850320** y **Anthony Joel Campos Espinoza** con documento de identificación No. **0940539075**, 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, 27 de agosto del 2025

Atentamente,

David Caicedo

Anthony Joel Campos E.

Julio David Caicedo Campos

Anthony Joel Campos Espinoza

C.C No. 0951850320

C.C No. 0940539075


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

Nosotros, **Julio David Caicedo Campos** con documento de identificación No. **0951850320** y **Anthony Joel Campos Espinoza** con documento de identificación No. **0940539075**, 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 **OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA CORRUGADORA**, 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.

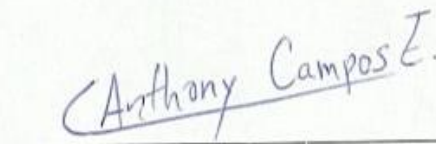
Guayaquil, 27 de agosto de 2025

Atentamente,



Julio David Caicedo Campos

C.C. No. 0951850320



Anthony Joel Campos Espinoza

C.C. No. 0940539075

CERTIFICADO DE DIRECCION DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Virgilio Alonso Ordóñez Ramírez** con documento de identificación No. **0909780850**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación **OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA CORRUGADORA**, realizado por **Julio David Caicedo Campos** con documento de identificación No. **0951850320** y **Anthony Joel Campos Espinoza** con documento de identificación No. **0940539075**, 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, 27 de agosto de 2025

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, reading "Virgilio Alonso Ordóñez R.", is written over a horizontal line. A vertical line extends downwards from the signature area.

Ing. Virgilio Alonso Ordóñez Ramírez, PhD

C.C. No. 0909780850

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Dedicatoria Anthony Campos

Dedico este trabajo, ante todo, a Dios, por haber sido mi guía constante, mi refugio en los momentos de incertidumbre y mi fortaleza en los días de cansancio. Su presencia me acompañó en cada paso de este camino, y su voluntad fue el faro que iluminó las decisiones más difíciles. Sin Su gracia, nada de esto habría sido posible.

A mi familia, con amor y gratitud infinitos. Gracias por creer en mí incluso cuando dudaba de mis propias capacidades. A mis padres, por su sacrificio, su ejemplo y por enseñarme el valor del esfuerzo y la educación. A quienes me ofrecieron palabras de aliento, abrazos silenciosos y apoyo incondicional, esta meta también les pertenece.

A mis profesores y formadores, que dejaron una huella imborrable en mi vida académica. Gracias por su paciencia, exigencia y por compartir su conocimiento con generosidad y vocación. Sus enseñanzas no solo me ayudaron a construir esta tesis, sino que moldearon mi manera de pensar, investigar y actuar.

A todos ustedes, este logro es también suyo. Gracias por acompañarme, sostenerme y motivarme a seguir adelante.

Dedicatoria Julio Caicedo

Con humildad y profunda gratitud, dedico este trabajo a Dios, quien ha sido mi sostén en los momentos de dificultad y mi fuente de inspiración en cada paso del camino. Su presencia ha sido constante, silenciosa pero poderosa, recordándome que todo esfuerzo tiene sentido cuando se confía y se persevera.

A mi familia, el pilar más firme de mi vida. A mis padres, por su amor incansable, sus consejos sabios y su ejemplo de lucha. A quienes, desde el silencio o la distancia, me brindaron su apoyo emocional, espiritual y material para llegar hasta aquí. Este logro también les pertenece, porque sin su respaldo nada de esto hubiera sido posible.

A mis profesores, quienes, más allá de transmitir conocimiento, sembraron en mí el deseo de aprender, cuestionar y superarme. A cada docente que me desafió a pensar, investigar y crecer, gracias por su compromiso con la formación de nuevas generaciones. Han sido piezas clave en este proceso y les reconozco con profundo respeto y admiración.

Esta dedicatoria es un acto de gratitud sincera hacia quienes caminaron conmigo, me alentaron a continuar y creyeron en mí incluso cuando yo dudaba. Gracias por ser parte de este capítulo tan importante en mi vida.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 . Problema de Estudio	3
1.2. Justificación	5
1.3. Objetivo	6
1.3.1. Objetivo General.....	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Marco hipotético	6
1.4.1. Hipótesis General	6
1.4.2. Hipótesis Especificas.....	6
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Electrocoagulación y Electrooxidación.....	7
2.2. Oxidación Avanzada	7
2.3. Biorreactores de Membrana (MBR)	7
2.4. Electrodesionización (EDI).....	8
2.5. Flotación de Aire Disuelto (DAF).....	8
2.6. Enfoque de Economía Circular.....	8
2.7. Índices de calidad de agua	8
2.8. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	9
2.9. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	9
2.10. Turbidez	9
2.11. Sólidos Suspendidos Totales (SST)	10
2.12. pH	10
2.13. Metales Pesados.....	10
2.14. Concentración de Aceites y Grasas.....	10
2.15. Coagulación	11
2.16. Pretratamiento.....	11
2.17. Tratamiento	11
2.18. Sedimentación por aireación.....	11
2.19. Floculación	12
2.20. Marco Legal.....	12
2.20.1. Constitución de la República del Ecuador	12
2.20.2. Código Orgánico Ambiental.....	12
2.20.3. Título I disposiciones generales	13
2.20.4. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua libro VI Anexo 1	14
2.20.5. Ordenanza Ambiental Municipal	16

3. METODOLOGÍA	17
3.1. Tipo de investigación	17
3.2. Toma de muestra	17
3.3. Conservación de la muestra	17
3.4. Caracterización de la muestra	18
3.4.1. Color.....	19
3.4.2. pH.....	19
3.4.3. Temperatura.....	19
3.4.4. Turbidez.....	20
3.4.5. DQO	20
3.4.6. Solidos Suspendidos Totales	20
3.4.7. Conductividad eléctrica.....	20
3.5. Tratabilidad del agua.....	21
3.6. Evaluación de la calidad del agua tratada	21
3.7. Población	22
3.8. Muestra	23
3.8.1. Nivel de Confianza (Z).....	23
3.8.2. Proporción (p).....	23
3.8.3. Margen de Error (c)	23
3.9. Unidad de análisis.....	23
3.10. Variables independientes.....	24
3.10.1. Cantidad de Cal.....	24
3.10.2. Cantidad de Sulfato de aluminio	24
3.10.3. Cantidad de Polímero.....	24
3.11. Variables Dependientes.....	24
3.11.1. % Remoción de contaminante.....	24
3.11.2. Parámetros de Calidad del agua tratada	25
4. RESULTADOS	26
4.1. Descripción del proceso de corrugado.....	26
4.2. Fuentes de emisión del agua residual (afluentes)	27
4.3. Otros aportes de agua residual al colector	27
4.4. Vías de Recolección y transporte del agua residual.....	28
4.5. Descripción de la planta de tratamiento.....	28
4.6. Determinación de Caudal.....	29
4.7. Balance del Agua Residual Previo a la experimentación.....	30
4.8. Población	30
4.9. Definición del tamaño de la muestra	31

4.10. Toma de muestra	31
4.11. Caracterización del agua residual.....	32
4.12. Tratabilidad	34
4.13. Resultados de calidad y % Remoción Alcanzado	40
4.14. Balance de Agua Residual de la Experimentación.....	45
4.15. Comprobación de Hipótesis	45
4.15.1. Extracción de los datos.....	45
4.15.2. Establecer las hipótesis.....	46
4.15.3. Calcular el valor Z.....	46
4.15.4. Conclusión de prueba de hipótesis	46
4.16. Análisis de Resultados.....	48
4.16.1. Parámetros físicoquímicos	48
4.16.2. Análisis Comprobación de hipótesis	49
4.16.3. Cumplimiento normativo	49
4.17. Interpretación general.....	49
5. CONCLUSIONES.....	51
6. RECOMENDACIONES.....	51
7. Bibliografía	52
8. Anexos	58

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Límites de descarga a un cuerpo de agua marina	15
Tabla 2 Caracterización del agua a tratar.....	18
Tabla 3 Tratabilidad	21
Tabla 4 Evaluación de resultados	22
Tabla 5 Caracterización del agua residual	33
Tabla 6 Resultados de calidad y porcentaje de remoción.....	44
Tabla 7 Consumo de insumos para tratamiento.....	49

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1 Proceso de corrugado	26
Ilustración 2 Evaluación del caudal.....	29
Ilustración 3 Balance del agua residual	30
Ilustración 4 Toma de muestra.....	32
Ilustración 5	35
Ilustración 6	35
Ilustración 7	36
Ilustración 8	36
Ilustración 9	37
Ilustración 10	37
Ilustración 11	38
Ilustración 12	38
Ilustración 13	39
Ilustración 14	39
Ilustración 15	40
Ilustración 16	41
Ilustración 17	42
Ilustración 18	42
Ilustración 19	47
Ilustración 20	61
Ilustración 21	63

VII

RESUMEN

La investigación aborda la optimización del tratamiento de aguas residuales en una industria corrugadora, con el objetivo de reducir la carga contaminante de sus descargas y cumplir con la normativa ambiental vigente en Ecuador. El problema central identificado es la alta contaminación de cuerpos hídricos como el Estero Salado, causada por descargas industriales sin tratamiento adecuado, que afectan tanto a la biodiversidad acuática como a la salud de las comunidades locales.

La presente investigación tiene como objetivo presentar una alternativa viable de manera técnica que permita optimizar los recursos en la unidad de análisis mediante la experimentación.

Se ha considerado las referencias bibliográficas de los últimos cinco años relacionadas a pretratamientos y tratamientos primarios, así de la legislación ambiental que se encuentra vigente para descargas de aguas residuales industriales a cuerpos de agua marina

Se empleó una metodología experimental con enfoque cuantitativo, que incluyó la caracterización de las aguas residuales, pruebas de tratabilidad mediante test de jarras y la evaluación de parámetros fisicoquímicos (pH, DQO, turbidez, sólidos suspendidos, oxígeno disuelto, entre otros). Se utilizaron coagulantes y floculantes como sulfato de aluminio, cal y polímeros, determinándose la dosis óptima para lograr la mayor eficiencia de remoción.

Los resultados evidenciaron una alta eficiencia del proceso optimizado, alcanzando reducciones de hasta 99% en turbidez, color y DQO, además de una neutralización del pH y un incremento del oxígeno disuelto. Si bien se observó un aumento en la conductividad eléctrica, atribuible a los químicos añadidos, los parámetros finales se mantuvieron dentro de los límites establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A.

Se concluye que el sistema propuesto, basado en pretratamiento, coagulación-floculación, sedimentación, filtración y desinfección, es técnicamente viable, ambientalmente responsable y económicamente favorable, contribuyendo a la sostenibilidad industrial y a la transición hacia un modelo de economía circular, con la posibilidad de reutilizar el agua tratada en el mismo proceso productivo.

ABSTRAC

The research addresses the optimization of wastewater treatment in a corrugated cardboard industry, with the aim of reducing the pollutant load of its discharges and complying with current environmental regulations in Ecuador. The central problem identified is the high pollution of water bodies such as the Estero Salado, caused by industrial discharges without adequate treatment, which affect both aquatic biodiversity and the health of local communities.

The present research aims to present a technically viable alternative that allows for the optimization of resources in the unit of analysis through experimentation.

Bibliographic references from the last five years related to pretreatments and primary treatments have been considered, as well as current environmental legislation for industrial wastewater discharges into marine water bodies.

An experimental methodology with a quantitative approach was used, which included the characterization of wastewater, treatability tests using jar tests, and the evaluation of physicochemical parameters (pH, COD, turbidity, suspended solids, dissolved oxygen, among others). Coagulants and flocculants such as aluminum sulfate, lime, and polymers were used, and the optimal dose was determined to achieve the highest removal efficiency.

The results showed high efficiency of the optimized process, achieving reductions of up to 99% in turbidity, color, and COD, as well as pH neutralization and an increase in dissolved oxygen. Although an increase in electrical conductivity was observed, attributable to the added chemicals, the final parameters remained within the limits established in Ministerial Agreement 097-A.

It is concluded that the proposed system, based on pretreatment, coagulation-flocculation, sedimentation, filtration, and disinfection, is technically feasible, environmentally responsible, and economically favorable, contributing to industrial sustainability and the transition to a circular economy model, with the possibility of reusing the treated water in the same production process.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la preocupación por el cuidado del medio ambiente ha tomado mayor relevancia, especialmente en lo que se refiere a la protección del agua. El crecimiento acelerado de la industria ha traído múltiples beneficios para dinamizar la economía, pero también ha generado una gran cantidad de desechos líquidos que, si no son tratados adecuadamente, se convierten en una amenaza seria para los ecosistemas y la salud de las personas. Las aguas residuales industriales pueden contener desde materia orgánica hasta metales pesados y sustancias químicas difíciles de degradar, lo que las convierte en una fuente de contaminación compleja (Martínez-Ruiz F. G., 2019).

En este contexto, la industria del cartón corrugado no es la excepción. Durante sus procesos productivos se utilizan adhesivos, tintas, productos químicos y otros insumos que contaminan el agua utilizada. Si esta agua no recibe un tratamiento adecuado antes de ser vertida al cuerpo hídrico, afecta directamente a los ríos, esteros y lagunas cercanas (González M. P., 2017). En países como Ecuador, esta situación se refleja con claridad en ciudades grandes, tal es el caso de Guayaquil, en donde la infraestructura para el tratamiento de aguas industriales no es suficiente y muchas empresas no cumplen con las políticas establecidas dentro del marco legal.

Uno de los ejemplos más visibles de esta problemática se encuentra en el sur de la ciudad. Allí, la acumulación de vertidos industriales ha deteriorado gravemente el Estero Salado, un cuerpo de agua que ha sido históricamente importante para la biodiversidad local y para la economía de comunidades que viven de la pesca artesanal. En esta zona, los vecinos han sido testigos no sólo de la desaparición de especies, sino también del mal olor del agua y de un aumento en enfermedades tanto de la piel, como digestivas, lo que ha sido reportado por varios estudios científicos y médicos. (Vera Concha, 2018).

A pesar de que la Constitución Ecuatoriana garantiza el derecho a vivir en un ambiente sano, y que existen normas como el Acuerdo Ministerial 097-A, que fija los límites permitidos para cada contaminante en el agua, la realidad ciertamente es que muchas

industrias no tratan sus aguas de manera adecuada. Además, las autoridades de control no siempre cuentan con los recursos suficientes para efectuar procesos dentro de la fiscalización de obras. (Ecuador. C. d., 2008)

Por eso, este anteproyecto tiene como objetivo principal proponer una forma de mejorar el tratamiento de aguas residuales en una industria corrugadora ubicada en el sur de Guayaquil. Se plantea trabajar con tecnologías sencillas pero eficaces, como la coagulación, la floculación y la desinfección. Estas técnicas permiten remover buena parte de los contaminantes presentes en el agua, como sólidos suspendidos, materia orgánica y metales, mejorando así su calidad antes de ser vertida (Rodríguez., 2020).

El trabajo se enfocó en hacer pruebas de laboratorio para encontrar las dosis exactas de los productos químicos necesarios para tratar el agua de esta industria. Primero se realizó un análisis detallado de las aguas residuales para conocer su composición, y luego se aplicó un test de jarras para evaluar qué combinación de tratamientos es la más efectiva. Esta información permitió validar un modelo de tratamiento que pueda ser aplicado no sólo en esta empresa, sino también en otras industrias similares.

Además de los beneficios técnicos, este tipo de soluciones también puede tener impactos positivos en lo económico y lo social. Es decir que, si la empresa mejora la calidad de sus descargas, se pueden evitar multas, mejorar su imagen y contribuir a la salud de las comunidades cercanas. Adicionalmente se estaría apoyando la transición hacia una economía circular, donde el agua tratada pueda incluso ser reutilizada en el mismo proceso productivo, reduciendo el consumo de agua fresca. (Gómez-Bueno M. , 2019).

Finalmente, este proyecto representa una oportunidad real de aportar a la sostenibilidad industrial de Guayaquil. Si logramos demostrar que es posible optimizar los tratamientos con herramientas accesibles, estaremos dando un paso importante hacia la conservación de nuestros cuerpos de agua y el respeto al derecho de vivir en un ambiente sano, no sólo como una obligación legal, sino como un compromiso ético con las generaciones futuras. (López F. S., 2019).

1.1. Problema de Estudio

La contaminación del agua en el Sur de Guayaquil ha alcanzado niveles críticos, especialmente debido a las descargas industriales no tratadas que afectan al Estero Salado. Las industrias, que utiliza grandes cantidades de agua y productos químicos en su proceso de fabricación, es una de las principales responsables de la contaminación en esta área. Los vertidos de estas industrias contienen sustancias como residuos de tintes, adhesivos y metales pesados, que, al ser liberadas sin tratamiento, alteran significativamente la calidad del agua y ponen en riesgo los ecosistemas acuáticos locales (Suárez Peláez et al., 2020).

La alta concentración de estos contaminantes está afectando la capacidad de los organismos acuáticos para sobrevivir, reduciendo la biodiversidad de la zona.

El impacto sobre la salud humana es igualmente grave. Las personas que viven en el Sur de Guayaquil se encuentran expuestas a aguas contaminadas tanto para consumo como para actividades cotidianas, como el baño y la limpieza. Las aguas residuales industriales son una fuente importante de enfermedades gastrointestinales, dermatológicas y respiratorias debido a la presencia de microorganismos patógenos y productos químicos tóxicos (Acosta Medranda & Villa Lara, 2023). Además, los niños y adultos mayores, que son más susceptibles a los efectos negativos de estas aguas, constituyen una parte significativa de la población afectada. Esta situación demuestra la necesidad urgente de mejorar la infraestructura sanitaria y de tratamiento de aguas residuales en la ciudad.

Uno de los principales problemas en la gestión de aguas residuales industriales, en Guayaquil alrededor de 524 industrias no tratan adecuadamente sus aguas residuales antes de verterlas, representando un 97% de las 540 industrias asentadas en la ciudad. Solo un 3% de las industrias tratan sus desechos correctamente. Estas descargas sin tratamiento contribuyen significativamente a la contaminación del estero Salado y los ríos Guayas y Daule. Aunque la ciudad cuenta con la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Esclusas, esta infraestructura no tiene la capacidad de tratar los vertidos industriales, debido a que esta trata únicamente aguas residuales domésticas. Esto resalta la insuficiencia de la infraestructura existente y la necesidad de implementar soluciones más efectivas y de mayor alcance, tanto en términos de cobertura como de tecnología para el tratamiento de aguas industriales (La República EC, 2024). La escasa supervisión y

control por parte de las autoridades locales también contribuyen a la perpetuación de esta problemática.

El deterioro de la biodiversidad acuática en el Guasmo Sur es otro aspecto crítico de la contaminación por aguas residuales industriales. Las especies de peces y otros organismos acuáticos, que eran anteriormente comunes en los esteros de la zona, han disminuido notablemente debido a la alteración de los ecosistemas acuáticos. La presencia de metales pesados como plomo y cadmio, productos tóxicos para los organismos acuáticos, ha generado condiciones letales para muchas especies. Este descenso en la biodiversidad impacta negativamente en las actividades de pesca artesanal, una fuente importante de ingresos para las familias del Guasmo Sur. La pérdida de especies acuáticas ha afectado tanto la seguridad alimentaria de la comunidad como la economía local (Vera Concha, 2023).

A pesar de los esfuerzos del gobierno por mitigar esta situación, la falta de cumplimiento de las normativas ambientales por parte de las industrias y la ausencia de medidas efectivas de sanción siguen siendo grandes obstáculos. La legislación ambiental en Ecuador ha avanzado en términos de establecer normas para el tratamiento de aguas residuales, pero la falta de implementación y control en áreas como el Guasmo Sur permite que muchas industrias sigan contaminando sin consecuencias. Además, la escasa participación de la comunidad en los procesos de monitoreo ambiental limita la capacidad de los ciudadanos para exigir el cumplimiento de las leyes y la protección del medio ambiente (Acosta Medranda & Villa Lara, 2023). Es fundamental que las autoridades locales, las empresas y la comunidad trabajen de forma conjunta para establecer mecanismos de control más estrictos y garantizar la transparencia en la gestión de los recursos hídricos.

La solución a la contaminación del agua en el Guasmo Sur requiere un enfoque integral que abarque tanto la mejora de las infraestructuras de tratamiento de aguas residuales como la concienciación de la industria y la ciudadanía sobre los impactos de la contaminación. Es necesario que las autoridades locales refuercen las políticas de fiscalización ambiental y promuevan un modelo de desarrollo económico sostenible que minimice los efectos negativos de las industrias sobre los recursos naturales. Del mismo modo, las empresas deben ser incentivadas a adoptar tecnologías más limpias y responsables en el manejo de sus aguas residuales, para evitar la contaminación a largo

plazo. La comunidad también juega un papel crucial en la vigilancia y promoción de prácticas que favorezcan la conservación de los ecosistemas acuáticos (Suárez Peláez et al., 2020).

El problema que se va a considerar en nuestro proyecto experimental que tuvo como unidad de análisis a una industria corrugadora, en la que el agua residual descargada hacia la fuente de agua salobre no cumple con los parámetros de calidad que exige la legislación ambiental ecuatoriana establecidos en la tabla No 10 del Acuerdo Ministerial 097 A, publicado en el Registro Oficial No 387 del 04 de noviembre del 2015.

1.2. Justificación

La contaminación hídrica causada por vertidos industriales no tratados, especialmente en el sur de Guayaquil, representa una grave amenaza ambiental y sanitaria. Las industrias, al generar grandes volúmenes de aguas residuales con compuestos como tintes, adhesivos y metales pesados, contribuye significativamente al deterioro de cuerpos de agua como el Estero Salado. La limitada capacidad de tratamiento existente y la ineficacia de los mecanismos de control que agravan esta problemática, afectando tanto la biodiversidad como la salud del ser humano. Frente a esta situación, resulta fundamental optimizar los procesos de tratamiento mediante la integración de tecnologías fisicoquímicas y biológicas que aseguren una alta eficiencia en la remoción de contaminantes. La importancia de llevar a cabo este proyecto radica en su potencial para transformar la gestión de aguas residuales industriales, aportando soluciones técnicas sostenibles y replicables. Además, su implementación puede generar beneficios económicos y sociales a mediano y largo plazo, como la reducción de sanciones, la mejora de la imagen empresarial y el acceso a agua de mejor calidad. Al caracterizar los efluentes y evaluar la viabilidad del sistema propuesto, se establecerán bases sólidas para futuras aplicaciones en otras industrias, contribuyendo a una producción más responsable y a la protección efectiva del entorno.

1.3. Objetivo

1.3.1. Objetivo General

Optimizar el tratamiento de aguas residuales en una industria corrugadora mediante la implementación de procesos fisicoquímicos, con el fin de mejorar la eficiencia en la remoción de contaminantes y cumplir con la normativa ambiental vigente.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las aguas residuales generadas en la industria corrugadora en función de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos relevantes para su tratamiento.
- Realizar pruebas de tratabilidad mediante un test de jarra para identificar la dosis adecuada.
- Evaluar la eficiencia de las pruebas experimentales mediante la verificación de la remoción de la contaminación para validar el proceso propuesto.

1.4. Marco hipotético

1.4.1. Hipótesis General

¿Será que la optimización del tratamiento de las aguas residuales mejorará la eficiencia de remoción de contaminantes y cumplirá con la normativa ambiental vigente?

1.4.2. Hipótesis Especificas

¿Será que caracterizando las aguas residuales permitirá identificar componentes relevantes para su tratamiento?

¿Será que realizando pruebas de tratabilidad permitirá identificar la dosis adecuada de coagulante y floculante?

¿Será que evaluando la eficiencia de las pruebas experimentales permitirá validar el proceso propuesto?

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

El tratamiento de aguas residuales industriales en la industria del cartón corrugado es crucial para cumplir con las regulaciones ambientales y mejorar la sostenibilidad del proceso. Las aguas residuales generadas en esta industria tienen una alta carga contaminante, que incluye compuestos orgánicos, aceites, grasas y residuos de procesos químicos. Entre las tecnologías más avanzadas para el tratamiento de estos efluentes, la destilación ha sido destacada como un proceso eficiente para la separación de contaminantes volátiles y la recuperación de agua (Gómez R. P., 2023). En este contexto, la destilación no solo se utiliza para purificar el agua, sino también para recuperar compuestos químicos valiosos, lo que puede reducir los costos operacionales y aumentar la eficiencia del tratamiento, a continuación, se describen los tipos de tratamientos más conocidos:

2.1 Electrocoagulación y Electrooxidación

Estos procesos utilizan corriente eléctrica para eliminar contaminantes en aguas industriales. La electrocoagulación se emplea para eliminar metales pesados y aceites, mientras que la electro oxidación degrada compuestos orgánicos complejos. Ambos métodos han demostrado eficacia en la remoción de contaminantes difíciles de tratar.

2.2. Oxidación Avanzada

La oxidación avanzada emplea agentes como ozono, peróxido de hidrógeno o radiación UV para descomponer contaminantes orgánicos persistentes. Es especialmente útil para tratar compuestos químicos resistentes a métodos convencionales. Un estudio de 2024 demostró que un sistema que combina ozono y radiación UV eliminó más del 95% de residuos farmacéuticos en una planta piloto europea.

2.3. Biorreactores de Membrana (MBR)

Los MBR combinan tratamiento biológico y filtración por membranas, ofreciendo alta eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos y nutrientes. Son adecuados para plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, logrando eliminaciones de hasta el 95% para la demanda química de oxígeno (DQO) y el 98% para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

2.4. Electrodesionización (EDI)

La EDI es una tecnología híbrida que combina intercambio iónico y electrodiálisis para purificar agua sin necesidad de productos químicos. Es utilizada en la obtención de agua de alta pureza para sectores como la producción de semiconductores y la industria farmacéutica.

2.5. Flotación de Aire Disuelto (DAF)

El DAF es un proceso que clarifica aguas residuales mediante la disolución de aire a presión, formando burbujas que se adhieren a los contaminantes y los hacen flotar para su remoción. Es comúnmente utilizado en la industria petrolera, petroquímica y en plantas de tratamiento de agua general. Además, el pretratamiento de las aguas residuales es crucial para maximizar la eficiencia del proceso de destilación. La presencia de sólidos suspendidos y otros contaminantes no volátiles puede afectar el rendimiento del sistema, por lo que se recomienda la implementación de tecnologías complementarias, como la filtración previa, para asegurar que el agua sea lo suficientemente limpia para ser destilada de manera efectiva (Martínez, Destilación como tecnología avanzada para la purificación de aguas residuales industriales, 2022).

2.6. Enfoque de Economía Circular

El enfoque de economía circular en el tratamiento de aguas residuales industriales implica la reutilización del agua tratada dentro del proceso productivo, lo que permite reducir la dependencia de fuentes de agua externas y disminuir los volúmenes de efluentes generados. En la industria del cartón corrugado, donde el consumo de agua es elevado, la implementación de este enfoque no solo contribuye a la sostenibilidad, sino que también reduce significativamente los costos operativos. (Gutiérrez-Segura, 2022), las prácticas de economía circular han permitido a varias industrias de este sector reducir hasta un 40% el consumo de agua fresca, lo que no solo mejora la eficiencia en la gestión del recurso, sino que también minimiza los impactos ambientales derivados del tratamiento de aguas residuales.

2.7. Índices de calidad de agua

En el tratamiento de aguas residuales industriales, como el caso de las aguas generadas en una planta corrugadora, se utilizan diversos índices de calidad del agua (ICA) para evaluar la efectividad de los procesos de tratamiento y asegurar que el agua tratada

cumpla con los estándares ambientales y de seguridad. A continuación, se detalla los principales índices de calidad del agua que se deben medir durante los procesos de tratamiento de aguas residuales industriales, como la destilación, electrocoagulación, biorreactores de membrana y otros procesos de tratamiento avanzado.

Índices de Calidad del Agua a Medir en Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales

2.8. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO mide la cantidad de oxígeno necesario para oxidar los contaminantes orgánicos presentes en el agua. Este índice es crucial en la evaluación de la carga orgánica del efluente y la efectividad de los procesos biológicos y químicos. Un valor elevado de DQO indica una alta concentración de materia orgánica, lo que sugiere que el agua necesita tratamiento adicional para reducir los contaminantes antes de su liberación o reutilización. (González M. P., 2021).

2.9. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ mide la cantidad de oxígeno que es consumido por los microorganismos durante la descomposición de la materia orgánica en el agua, y es un indicador directo de la biodegradabilidad del efluente. Es fundamental para evaluar la eficiencia de los tratamientos biológicos, como los **biorreactores de membrana** (MBR), que dependen de la actividad microbiana para degradar la materia orgánica. (Ruiz V. R., Metales pesados y otros contaminantes en aguas residuales industriales, 2022).

2.10. Turbidez

La **turbidez** mide la opacidad del agua, causada por la presencia de partículas suspendidas. En el tratamiento de aguas residuales industriales, es importante controlar la turbidez ya que su presencia puede indicar la eficiencia de los procesos de filtración o coagulación. La turbidez es un indicador indirecto de la presencia de contaminantes, como sólidos suspendidos, que deben ser eliminados para asegurar la calidad del agua tratada. (Sánchez R. &., eficiencia de la destilación en el tratamiento de aguas residuales de la industria cartonera, 2023).

2.11. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Los **Sólidos Suspendidos Totales (SST)** son los sólidos finos que permanecen suspendidos en el agua y que no se sedimentan rápidamente. Estos sólidos incluyen partículas orgánicas e inorgánicas que pueden obstruir sistemas de filtración y afectar la calidad del agua. Los SST son un indicador directo de la eficiencia de los procesos de separación física, como la **electrocoagulación** o la **filtración**. Su eliminación es esencial para reducir la turbidez y mejorar la calidad del agua. (Gómez J. R., Aplicación de la destilación simple en el tratamiento de aguas residuales en la industria del cartón corrugado., 2023).

2.12. pH

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad del agua. El pH de las aguas residuales industriales puede variar dependiendo de los procesos químicos involucrados en la producción, como la utilización de ácidos o bases en el tratamiento de superficies del cartón. El control del pH es crucial para asegurar que el proceso de tratamiento no dañe las membranas de los sistemas de filtración ni interfiera con otros procesos químicos, como la oxidación avanzada (López F. S., Tratamiento de aguas residuales en la industria cartonera: Indicadores de calidad y sus implicaciones., 2021)

2.13. Metales Pesados

Los **metales pesados** como el plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg), y zinc (Zn) son contaminantes comunes en las aguas residuales industriales, especialmente en industrias que utilizan metales o productos químicos en sus procesos. Estos contaminantes son tóxicos incluso en bajas concentraciones y su presencia en el efluente puede comprometer la calidad del agua y representar un riesgo para la salud humana y los ecosistemas acuáticos. (González M. P., 2021).

2.14. Concentración de Aceites y Grasas

Los **aceites y grasas** en las aguas residuales provienen generalmente de los procesos de lubricación y de la adición de productos químicos en el proceso de fabricación del cartón. La presencia de aceites y grasas no solo afecta la calidad del agua tratada, sino que también puede interferir con la eficiencia de los sistemas biológicos y de filtración. Además, su presencia es una preocupación estética y de salubridad en cuerpos de agua

receptores (Sánchez R. &., Eficiencia de la destilación en el tratamiento de aguas residuales de la industria cartonera, 2023).

2.15. Coagulación

Proceso químico en el que se agregan coagulantes para desestabilizar partículas coloidales, facilitando su aglomeración. La coagulación química es crucial para la desestabilización de coloides y su posterior remoción (Gómez-Bueno M. &.-H., 2022).

2.16. Pretratamiento

El pretratamiento es la fase inicial en el proceso de tratamiento de aguas residuales, cuyo objetivo es eliminar los sólidos gruesos y materiales que podrían dañar o interferir con los equipos en etapas posteriores. Incluye procesos como el cribado, desarenado y desengrasado.

El pretratamiento incluye procesos físicos que remueven sólidos grandes, arenas y grasas del agua residual para proteger las etapas siguientes del tratamiento. (Ovive, 2023), el pretratamiento es esencial para eliminar contaminantes físicos antes del tratamiento más avanzado del agua residual.

2.17. Tratamiento

Es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos utilizados para eliminar contaminantes del agua residual antes de su vertido o reutilización.

El tratamiento de aguas residuales incluye etapas primarias, secundarias y terciarias para garantizar la calidad del efluente (Martínez-Ruiz F. G.-R.-C., 2021).

2.18. Sedimentación por aireación

La sedimentación por aireación es una técnica que combina los procesos de aireación intensa y sedimentación gravitacional con el fin de mejorar la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica del agua residual. En este enfoque, la aireación proporciona oxígeno disuelto que favorece la actividad de microorganismos aeróbicos y la formación de flóculos, mientras que la sedimentación, en un tanque clarificador, permite su separación por gravedad. Este mecanismo está estrechamente vinculado a los procesos de coagulación y floculación, mediante los cuales sustancias químicas (como sales de aluminio o polímeros) promueven la agregación de partículas finas en flóculos que sedimentan con mayor facilidad (Wikipedia., Sedimentation (water treatment)). En

plantas de tratamiento convencionales, la sedimentación suele preceder o seguir a la floculación, mejorando significativamente la eficiencia de remoción de turbidez, materia orgánica y sólidos totales (Wikipedia., Flocculation (water treatment).). Desde una perspectiva teórica, la aireación cumple dos funciones críticas: Oxigenación del medio, que estimula la biodegradación biológica. Formación de flóculos más densos o compactos, al estabilizar las partículas para facilitar su sedimentación (Jeimmy A. Muñoz, 2021).

2.19. Floculación

Proceso posterior a la coagulación donde, mediante agitación lenta y uso de floculantes, las partículas se agrupan en flóculos más grandes y sedimentables. La floculación permite la formación de flóculos grandes y pesados que sedimentan fácilmente (Rodríguez, 2020).

2.20. Marco Legal

Para la ejecución del presente proyecto se ha considerado el siguiente marco legal ecuatoriano vigente.

2.20.1. Constitución de la República del Ecuador

- **Artículo 14:** "Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*."
- **Artículo 66,** numeral 27: "Se reconoce y garantiza a las personas el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación."
- **Artículo 397:** "En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además, establecerá y ejecutará las políticas para alcanzar los siguientes objetivos: (...) 2. Prevenir y controlar la contaminación ambiental, en especial la de los ecosistemas frágiles como páramos, humedales, bosques nublados, ecosistemas marinos y otros definidos en la ley." (Ecuador, Constitución de la República del Ecuador, 2008)

2.20.2. Código Orgánico Ambiental

Capítulo IV monitoreo y seguimiento

- **Art. 208.-** Obligatoriedad del monitoreo. El operador será el responsable del monitoreo de sus emisiones, descargas y vertidos, con la finalidad de que estas

cumplan con el parámetro definido en la normativa ambiental. La Autoridad Ambiental Competente, efectuará el seguimiento respectivo y solicitará al operador el monitoreo de las descargas, emisiones y vertidos, o de la calidad de un recurso que pueda verse afectado por su actividad. Los costos del monitoreo serán asumidos por el operador. La normativa secundaria establecerá, según la actividad, el procedimiento y plazo para la entrega, revisión y aprobación de dicho monitoreo.

2.20.3. Título I disposiciones generales

- **Art. 208.-** Obligatoriedad del monitoreo. El operador será el responsable del monitoreo de sus emisiones, descargas y vertidos, con la finalidad de que estas cumplan con el parámetro definido en la normativa ambiental. La Autoridad Ambiental Competente, efectuará el seguimiento respectivo y solicitará al operador el monitoreo de las descargas, emisiones y vertidos, o de la calidad de un recurso que pueda verse afectado por su actividad. Los costos del monitoreo serán asumidos por el operador. La normativa secundaria establecerá, según la actividad, el procedimiento y plazo para la entrega, revisión y aprobación de dicho monitoreo.
- **Art. 282., Numeral. 6-** Criterios para el otorgamiento de incentivos. La Autoridad Ambiental Nacional tendrá en cuenta los siguientes criterios para diseñar y otorgar incentivos ambientales:
 - 6. La reducción o eliminación de materiales tóxicos, emisiones o descargas, y demás medidas que coadyuven en la adaptación y mitigación del cambio climático.
- **Art. 318., Numeral. 11-** Infracciones muy graves. Las siguientes infracciones se considerarán muy graves y se les aplicará, además de la multa económica, las siguientes:
 - 11. El incumplimiento de los límites permisibles sobre vertidos, descargas y emisiones. Para esta infracción aplicará, según corresponda, la sanción contenida en el numeral 4 del artículo 320.
- **Art. 320.-** Sanciones. Son sanciones administrativas las siguientes:
 - 1. Multa económica;

2. Decomiso de las especies de vida silvestre, nativas, exóticas o invasoras, herramientas, equipos, medios de transporte y demás instrumentos utilizados para cometer la infracción;
3. Destrucción de los productos, medios de transporte, herramientas o bienes utilizados para cometer la infracción;
4. Suspensión temporal de la actividad o del aval oficial de actuación;
5. Revocatoria de la autorización, terminación del contrato y del aval oficial de actuación;
6. Devolución, suspensión, o pérdida de incentivos; y,
7. El desalojo de personas del área donde se está cometiendo la infracción, con garantía plena de sus derechos, así como el desmontaje y la demolición de infraestructura o instrumentos utilizados para cometer la infracción.

La obligación de la reparación integral se impondrá en todas las infracciones en las cuales exista la responsabilidad y ocurrencia de daños ambientales, de conformidad con las disposiciones establecidas en este Código.

Se impondrá la clausura definitiva de establecimientos, edificaciones o servicios cuando los daños ambientales no han cesado por el incumplimiento de las medidas correctivas ordenadas. (Ecuador, CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE, 2017)

2.20.4. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua libro VI Anexo 1

El Acuerdo Ministerial 097-A forma parte de la normativa ecuatoriana que regula el tratamiento y vertido de aguas residuales industriales, estableciendo directrices claras para prevenir la contaminación de los cuerpos de agua. Este acuerdo es una de las herramientas fundamentales para implementar prácticas industriales sostenibles y responsables en el manejo de los efluentes líquidos. Su base es la necesidad de garantizar que las industrias respeten los límites máximos permitidos de contaminación, tal como lo establece el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), en particular a través de la Tabla 10 ANEXO 1, que regula los parámetros de calidad del agua y efluentes industriales (Ecuador. M. d., 2020).

Tabla 1 Límites de descarga a un cuerpo de agua marina

Tabla 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina			
Parámetros	Unidad	Límite Máximo permisibles	
		Descarga en rompientes	Descargas en emisarios submarinos
Aceites y Grasas (sust. solubles en hexano)	mg/l	30.0	30.0
Arsénico total	mg/l	0.5	0.5
Aluminio	mg/l	5.0	5.0
Cianuro total	mg/l	0.2	0.2
Zinc	mg/l	10.0	10.0
Cobre	mg/l	1.0	1.0
Cobalto	mg/l	0.5	0.5
Coliformes fecales	NMP/100 ml	2	2
Color	Unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20	Inapreciable en dilución 1/20
Cromo hexavalente	mg/l	0.5	0.5
Compuestos fenólicos (Fenol)	mg/l	0.2	0.2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/l	200.0	400.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	400.0	600.0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/l	20.0	20.0
Materia Flotante	mg/l	10.0	10.0
Mercurio total	mg/l	0.05	0.05
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	40.0	40.0
pH	-	6.0 – 9.0	6.0 – 9.0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	100.0	100.0
Sulfuros	mg/l	1.0	1.0
Pesticidas Organoclorados	mg/l	0.05	0.05
Pesticidas Organofosforados	mg/l	0.05	0.05
Tensoactivos	mg/l	0.5	0.5

Fuente: R. O. No. Edición Especial. Quito, miércoles 4 de noviembre de 2015

2.20.5. Ordenanza Ambiental Municipal

Título IV Mecanismos de control y seguimiento ambiental

- **Art. 70.- Muestreos.** - Los muestreos serán gestionados por los operadores para cumplir el plan de monitoreo del plan de manejo ambiental y para determinar la calidad ambiental de una descarga, emisión, vertido o recurso. Los muestreos deben realizarse considerando normas técnicas vigentes y supletoriamente utilizando normas o estándares aceptados internacionalmente. Para la toma de muestras de las descargas, emisiones y vertidos, el operador deberá disponer de sitios adecuados para muestreo y aforo de los mismos y proporcionará todas las facilidades e información requeridas.

Serán considerados como mecanismos de control, los siguientes: 1) monitoreo; 2) muestreo; 3) inspección; 4) informes ambientales de cumplimiento; 5) auditorías ambientales; 6) vigilancia ciudadana; 7) otros mecanismos establecidos en las presentes ordenanzas

- **Art. 71.- Informe de monitoreos ambientales anual.** – Los operadores deberán presentar en la

Dirección de Ambiente del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Guayaquil un reporte anual denominado “Informe de Monitoreos Ambientales Anual”, que llevará los reportes con las observaciones visuales, los registros de recolección, los análisis y la evaluación de los resultados de los muestreos para medición de parámetros de la calidad y/o de alteraciones en los medios físico, biótico, socio-cultural, ejecutados por un laboratorio acreditado.

- **Art. 75.- Auditoría Ambiental de Cumplimiento.** - El operador presentará una auditoría ambiental de cumplimiento con la finalidad de evaluar la incidencia de los impactos ambientales de sus proyectos, obras o actividades y verificar el cumplimiento del plan de manejo ambiental, plan de monitoreo, obligaciones derivadas de las autorizaciones administrativas ambientales, normativa ambiental vigente. (Guayaquil., 2014)

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

El estudio sobre la optimización del tratamiento de aguas residuales industriales en una corrugadora fue de tipo experimental, ya que se realizó un análisis de causa y efecto mediante la aplicación de variables, con el objetivo de identificar relaciones causales entre las variables seleccionadas. En este método, se puso a prueba la validez de una hipótesis, sometiéndola a experimentación. Fue una investigación objetiva, sistemática y controlada, orientada a predecir y controlar los fenómenos, así como a examinar la probabilidad y causalidad entre las variables, de acuerdo con los datos utilizados.

La investigación fue de enfoque cuantitativo, dado que se emplearon métodos de medición, manipulación de variables y evaluación de resultados. Según el momento del estudio, se trató de una investigación de tipo transversal, ya que los datos fueron recolectados en un único momento en el tiempo, con el propósito de describir las variables, estudiar su incidencia e interrelación en un contexto específico.

3.2. Toma de muestra

Para la realización de la toma de muestra del agua residual generada en el proceso industrial de la unidad de análisis, se consideró determinar de manera previa cuales son todas las fuentes que originan agua residual, para tomar una muestra representativa en el momento que estén operando los procesos que originan la misma, utilizando técnicas de muestreo adecuadas que garantizaron la representatividad de las características del efluente. Para ello, se consideraron la Norma Técnica INEN 2169 *Agua. Calidad del agua. Muestreo, manejo y conservación de muestras*, y la Norma NTE INEN 2176 *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo*.

3.3. Conservación de la muestra

Para garantizar la integridad de las muestras de aguas residuales industriales durante su transporte y almacenamiento temporal, se procedió a su conservación mediante enfriamiento inmediato en baño de hielo o refrigeración a una temperatura de 4 °C, y en condiciones de oscuridad, con el fin de minimizar la actividad microbiológica y los cambios fisicoquímicos.

3.4. Caracterización de la muestra

Las muestras recolectadas fueron analizadas para determinar sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas. Entre los parámetros evaluados se incluyeron: pH, temperatura, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica, color, turbidez, sólidos totales y coliformes totales y fecales indicadores.

Tabla 2 Caracterización del agua a tratar

Parámetros para la caracterización del agua a tratar				
No.	Parámetros	Unidad	Equipo	Método
1	Color	Unidad Pt-Co	DR 6000	Espectrofotométrico
2	pH	-	Potenciómetro	Potenciometría
3	Temperatura	°C	Termómetro	Medición directa
4	Turbidez	NTU	Turbidímetro	Método dispersión de luz
5	DQO (Demanda Química de Oxígeno)	mg/L	Digestor + Espectrofotómetro	Método colorimétrico (dicromato)
6	Sólidos suspendidos totales	mg/L	Balanza + horno	Método gravimétrico
7	Conductividad eléctrica	μS/cm	Conductímetro	Conductimetría

Elaborado: Los autores

3.4.1. Color

La colorimetría es una técnica analítica objetiva que mide el color mediante instrumentos especializados, reemplazando la percepción visual por datos numéricos estandarizados. Los colorímetros triestímulo utilizan filtros para medir la luz reflejada o transmitida en las bandas R-G-B (coincidentes con las funciones x, y, z del sistema CIE 1931), generando valores colorimétricos básicos. Por su parte, los espectrofotómetros capturan la reflectancia espectral completa en el rango visible, otorgando una mayor precisión y capacidad analítica, especialmente útil en control de calidad y formulación. Ambos instrumentos simulan el sistema tripartito color-luz-observador mediante una fuente de luz estandarizada, filtros o monocromador, y una geometría de medición controlada (por ejemplo, $d/8^\circ$ o $45^\circ/0^\circ$), garantizando consistencia y reproducibilidad en las medidas (Sensing, s.f.).

3.4.2. pH

La técnica empleada por el potenciómetro es la potenciometría, un método electroanalítico cuantitativo que consiste en medir la diferencia de potencial eléctrico entre dos electrodos dentro de una celda electroquímica: un electrodo indicador, sensible a la actividad del analito, y un electrodo de referencia, con potencial constante. Esta diferencia de potencial se relaciona con la concentración del analito mediante la ecuación de Nernst y se obtiene bajo condiciones de corriente prácticamente nula, lo cual permite mantener el sistema en equilibrio (J. Romero-Palma a, 2025).

3.4.3. Temperatura

La medición de temperatura puede realizarse mediante técnicas de contacto, como termopares o sensores de resistencia (RTD, termistores), que requieren contacto directo con el medio, o a través de métodos sin contacto, como la pirometría, que analiza la radiación térmica emitida por la superficie del objeto. Recientemente se han desarrollado técnicas más avanzadas y no intrusivas, como la fosforescencia inducida por láser y pinturas sensibles a la temperatura, que permiten medir con alta precisión sin perturbar el campo térmico, ofreciendo rápida respuesta y reducida influencia del entorno (Siyu Liu, 2022).

3.4.4. Turbidez

la turbidez se cuantifica mediante la dispersión de luz por partículas suspendidas; un turbidímetro/nefelómetro emite luz sobre la muestra y mide la luz dispersada, permitiendo determinar su valor en NTU o FNU tras calibración con estándares (instruments, 2022).

3.4.5. DQO

La DQO se determina mediante un método estándar que implica oxidación química de la materia orgánica con dicromato de potasio en medio ácido, bajo digestión a 150 °C durante aproximadamente 2 horas. Posteriormente, el exceso de oxidante se cuantifica por titulación o colorimetría, permitiendo calcular el oxígeno consumido equivalente ([APHA 5220-C/D] (Georgia, 2022).

3.4.6. Sólidos Suspendidos Totales

La determinación de SST se realiza mediante un procedimiento gravimétrico estándar: una muestra representativa de agua (≤ 1 L) se filtra a través de un filtro de fibra de vidrio o membrana, previamente pesado. Después de filtrar plenamente (con mezcla previa de la muestra), el filtro se seca a 104 °C aproximadamente hasta peso constante y se pesa nuevamente. La diferencia entre ambas masas, dividida por el volumen de la muestra, proporciona los SST en mg/L. Este método corresponde al protocolo oficial 2540 D de los *Standard Methods*, también reconocido por EPA (Method 160.2) (peru, 2023).

3.4.7. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de agua se determina mediante un conductímetro, dispositivo equipado con una sonda que contiene electrodos sumergidos en la muestra. Se aplica un voltaje y se mide la respuesta eléctrica (corriente o caída de tensión), lo que permite calcular la conductividad en función de la resistencia eléctrica del agua. Algunas tecnologías utilizan un método bipolar de CA, mientras que otras emplean una inducción electromagnética, ideal para muestras altamente conductivas o corrosivas. Debido a que la conductividad depende de la temperatura, los instrumentos suelen incorporar compensación automática o reportar los resultados normalizados a 25 °C para asegurar precisión y comparabilidad (EPA, 2012).

3.5. Tratabilidad del agua

Se llevaron a cabo pruebas de test de jarra hasta la obtención de la dosis óptima, para lo cual se utilizaron cal, sulfato de aluminio y polímero catiónico. Posteriormente, se efectuó un pretratamiento con un sedimentador, seguido de un tratamiento primario para clarificar el agua, y finalmente, un tratamiento secundario que consistió en filtración y desinfección.

Tabla 3 Tratabilidad

Tratabilidad						
No	Proceso	Sustancia	Concentración	Cantidad	Tiempo	Índice de willcomb
1						
2						
3						
4						
5						

Elaborado: Los autores

3.6. Evaluación de la calidad del agua tratada

Para la evaluación de la calidad del agua se utilizaron los parámetros establecidos en la tabla No 4, evaluación de resultados, que se encuentra a continuación.

Tabla 4 Evaluación de resultados

Evaluación de Resultados					
No.	Parámetros	Unidad	Valor Inicial	Valor Final	% Remoción
1	Color	Unidad Pt-Co			
2	pH	-			
3	Temperatura	°C			
4	Turbidez	NTU			
5	DQO	mg/L			
6	Sólidos suspendidos totales	mg/L			
7	Conductividad eléctrica	μS/cm			

Elaborado: Los autores

3.7. Población

Para la determinación de la población en esta investigación se realizó una determinación de caudal considerando que la unidad de análisis estaba operando las fases que generan el agua residual.

3.8. Muestra

Para la determinación del tamaño de la muestra se consideró la siguiente ecuación:

$n = (Z^2 * p * (1-p)) / c^2$, donde:

n: tamaño de la muestra.

Z: valor Z correspondiente al nivel de confianza deseado (ej., 1.96 para 95% de confianza).

p: estimación de la proporción de la población que tiene la característica de interés. Si no se tiene una estimación, se suele usar 0.5 para obtener un tamaño de muestra más conservador.

c: margen de error deseado

3.8.1. Nivel de Confianza (Z)

Representa la probabilidad de que los resultados de la muestra sean representativos de la población general. Valores comunes son 1.96 (95% de confianza) o 2.58 (99% de confianza).

3.8.2. Proporción (p)

Es la estimación de la proporción de la población que posee la característica que se quiere estudiar. Si no se tiene una estimación previa, se suele usar 0.5, ya que es el valor que maximiza el tamaño de la muestra y, por lo tanto, asegura una mayor precisión.

3.8.3. Margen de Error (c)

Es el grado de error que se está dispuesto a aceptar en la estimación de la población a partir de la muestra. Se expresa como un porcentaje (ej., 5%) o como una decimal (ej., 0.05).

3.9. Unidad de análisis

En presente proyecto se tomó en cuenta la industria corrugadora que se encuentra ubicada en el sur de Guayaquil con sus coordenadas UTM 623225,37 E - 9747312,83 N.

3.10. Variables independientes

Las variables que el proyecto optimización del tratamiento de aguas residuales de una industria corrugadora que se consideraron son:

3.10.1. Cantidad de Cal

Es una agente alcalinizante, utilizado para el tratamiento de aguas residuales. Su función principal el elevar el pH del agua, lo que favorece la coagulación de partículas suspendidas y la precipitación de metales pasados, mejorando la eficiencia de los procesos de floculación y sedimentación.

3.10.2. Cantidad de Sulfato de aluminio

Es en coagulante químico utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Su función principal es desestabilizar las partículas coloidales presentes en el agua, promoviendo s aglomeración en flóculos de pueden ser fácilmente removidos por sedimentación.

3.10.3. Cantidad de Polímero

Compuesto Químico que facilitan la aglomeración de partículas finas en el agua, formando flóculos más grandes y densos. Su función principal es mejorar la eficiencia de la sedimentación la aumentar el tamaño y la estabilidad de los flóculos formados durante el proceso de floculación.

3.11. Variables Dependientes

Son los resultados o efectos que se miden como resultado de la manipulación de las variables independientes. Estas variables dependen directamente de las condiciones del tratamiento aplicado.

3.11.1. % Remoción de contaminante

Se refiere a la efectividad con la que se remueven los contaminantes del agua residual. Se mide generalmente como la reducción en la concentración de contaminantes antes y después del tratamiento.

3.11.2. Parámetros de Calidad del agua tratada

Es el parámetro que mide el cumplimiento de las normas de calidad del agua después del tratamiento. Se evalúa mediante indicadores establecidos en la tabla No 4 de este documento.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

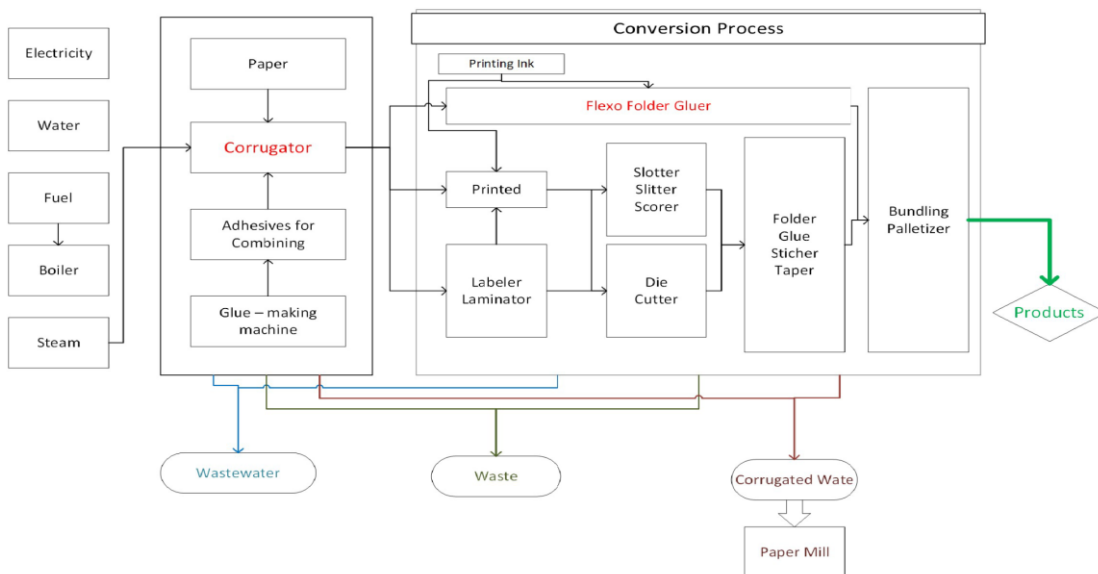
En este capítulo se presentan los resultados de los procesos obtenidos en la optimización del tratamiento de aguas residuales de una industria corrugadora a partir del análisis de los datos recolectados conforme a la metodología previamente descrita. El objetivo principal es exponer de manera clara, objetiva y sistemática los hallazgos que responden a los objetivos de investigación planteados.

Los datos se organizan en función de las variables de estudio y se acompañan, cuando corresponde, de representaciones gráficas y estadísticas descriptivas e inferenciales que facilitan su interpretación.

4.1. Descripción del proceso de corrugado

La fabricación del cartón corrugado involucra varios procesos. En primer lugar, un papel es calentado por vapor para formar las capas externas del cartón y otro papel se calienta y se corruga para formar el “medium”. Luego, las capas externas son engomadas y juntadas con el medium para formar el cartón corrugado. Para remover el exceso de humedad y permitir estabilizarse al adhesivo, el cartón corrugado es comprimido con platos calientes. Al final, el cartón corrugado es secado, marcado “scored”, cortado y apilado.

Ilustración 1 Proceso de corrugado



Elaborado por: Chemistry & Chemical engineering, Biotechnology, Food Industry 2021,22(1)

4.2. Fuentes de emisión del agua residual (afluentes)

Las aguas residuales se generan desde la limpieza del corrugador, específicamente en el circuito y tanque de preparación del adhesivo. Este efluente está muy concentrado en gomas y tienen una coloración amarillenta. Se caracterizan por alta concentración de materia orgánica, alta salinidad y alto contenido sólido. La alta carga orgánica se debe a la presencia de almidón durante el proceso de lavado con agua.

Cada limpieza del corrugador genera las siguientes cantidades de agua residual

Volumen del agua utilizada en el enjuague: 2.6 m³

Volumen de la solución acuosa utilizada en el lavado químico: 2.06 m³

Volumen de agua con desinfectante: 3 m³

Estos valores están estandarizados y están debidamente controlados por medio de una balanza

4.3. Otros aportes de agua residual al colector

Se evidenció que existe un volumen indeterminado de aportaciones al drenaje, de la línea de corrugadora. Estos se enumeran a continuación y su volumen está incluido en la medición de caudales efectuado y detallado anteriormente.

Fugas de condensado en el sistema de calentamiento por vapor en las máquinas de la corrugadora y en las líneas de retorno.

Lavado de envases usados de tintas que se descargan directamente en el estanque colector, este lavado se realiza con detergente.

Lavado de tapetes de piso usados en los baños generales de la planta, descargados directamente en el estanque colector.

Condensado de unidades de aire acondicionado descargadas a la caja de registro del interior de la planta.

También se registran descargas de aguas contaminadas con grasa a partir de filtraciones en las impresoras flexográficas. Este valor corresponde a 7.71 m³.

4.4. Vías de Recolección y transporte del agua residual

La línea de corrugado tiene una vía de recolección y transporte de aguas residuales industriales, cuyas características principales son las siguientes:

Diámetro de tubería: 16 pulgadas.

Longitud: 150 m

de cajas de registro: 8

dimensiones: 1 x 1 x 1 m

Cámaras de sedimentación: 2

Pozo recolector homogeneizador: 1

Volumen del homogeneizador: 25.2 m³

4.5. Descripción de la planta de tratamiento

La planta de tratamiento de aguas residuales comprende una instalación adaptada a partir de la recuperación de esta planta que estuvo funcionando en otro lugar. Las características técnicas de este sistema comprenden lo siguiente:

Tanques cónicos elevados 10 m³: 2

Tanque rectangular de acero inoxidable como reactor biológico 45 m³: 1

Blower 2.5 HP: 1

Bomba 1 HP: 1

Difusores de aire: 15

Bombas dosificadoras 1 lt/m: 2

Sistema de filtración de arena/grava y carbón activado de 8 m³/hr: 2

Cisterna de agua tratada 15 m³: 2

Punto de muestreo o vertedero permite medición de caudal descargado al río.

Lechos de secado de lodos capacidad aproximada 45 m³: 2

Largo: 10 metros

Ancho: 3 metros

Alto: 1.5 metros

4.6. Determinación de Caudal

Se efectuó medición de caudales en el tanque de homogenización de la línea de drenaje de la corrugadora. Es de resaltar que la medición se realizó durante la jornada diurna, en el momento que se llevó a cabo la limpieza de las máquinas de la corrugadora y cocina de almidón.

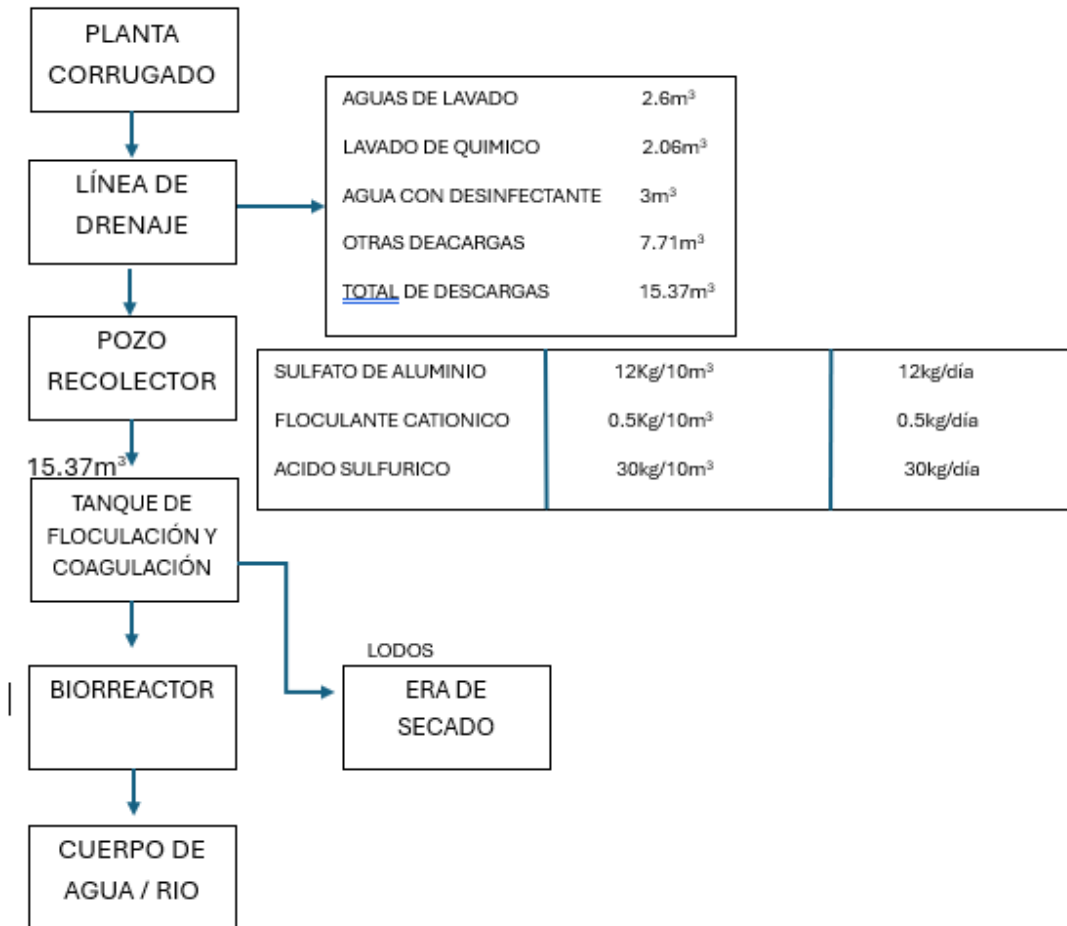
Ilustración 2 Evaluación del caudal

EVALUACIÓN DE CAUDAL EN LA LÍNEA DE ALMIDÓN								
Hora Inicial	Hora Final	Altura	Área	Volumen	Tiempo	Caudal		
minutos	minutos	metros	m ²	m ³	minuto	m ³ /min	m ³ /hr	m ³ /día
08H16	08H25	0,02	13,6	0,272	9	0,03	1,81	43,52
08H25	08h35	0,104	13,6	1,4144	10	0,14	8,49	203,67
08h35	08h47	0,013	13,6	0,1768	12	0,01	0,88	21,22
08h47	08h55	0,009	13,6	0,1224	8	0,02	0,92	22,03
08h55	09h05	0,011	13,6	0,1496	10	0,01	0,90	21,54
09h05	09h15	0,002	13,6	0,0272	10	0,00	0,16	3,92
09h15	09h28	0,01	13,6	0,136	13	0,01	0,63	15,06
09h28	09h35	0	13,6	0	7	0,00	0,00	0,00
09h35	09h45	0,007	13,6	0,0952	10	0,01	0,57	13,71
09h45	09h55	0,007	13,6	0,0952	10	0,01	0,57	13,71
09h55	10h05	0,008	13,6	0,1088	10	0,01	0,65	15,67
10h05	10h15	0,018	13,6	0,2448	10	0,02	1,47	35,25
10h15	10h25	0,005	13,6	0,068	10	0,01	0,41	9,79
10h25	10h37	0,015	13,6	0,204	12	0,02	1,02	24,48
10h37	10h45	0,013	13,6	0,1768	8	0,02	1,33	31,82
10h45	10h55	0,028	13,6	0,3808	10	0,04	2,28	54,84
10h55	11h05	0,011	13,6	0,1496	10	0,01	0,90	21,54
11h05	11h15	0,003	13,6	0,0408	10	0,00	0,24	5,88
11h15	11h35	0	13,6	0	20	0,00	0,00	0,00
11h35	11h50	0	13,6	0	15	0,00	0,00	0,00
11h50	12h20	0,01	13,6	0,136	10	0,01	0,82	19,58
12h20	13h10	0,01	13,6	0,136	50	0,00	0,16	3,92
13h10	13h40	0,01	13,6	0,136	30	0,00	0,27	6,53
13h40	14h10	0,02	13,6	0,272	30	0,01	0,54	13,06
14h10	14h52	0,01	13,6	0,136	42	0,00	0,19	4,66
14h52	15h22	0	13,6	0	30	0,00	0,00	0,00
15h22	15h52	0,025	13,6	0,34	30	0,01	0,68	16,32
15h52	16h17	0,015	13,6	0,204	25	0,01	0,49	11,75
16h17	16h27	0,04	13,6	0,544	10	0,05	3,26	78,34
16h27	16h56	0,02	13,6	0,272	29	0,01	0,56	13,51
16h56	17h10	0,001	13,6	0,0136	14	0,00	0,06	1,40
17h10	17h20	0,016	13,6	0,2176	10	0,02	1,31	31,33
17h20	17h30	0,06	13,6	0,816	10	0,08	4,90	117,50
17h30	17h42	0,065	13,6	0,884	12	0,07	4,42	106,08
PROMEDIO						0,02	1,20	28,87
MAXIMO						0,14	8,49	203,67
MINIMO						0,00	0,00	0,00
MEDIANA						0,01	0,64	15,37
DESVIACIÓN ESTÁNDAR						0,03	1,73	41,62

Fuente: autores

4.7. Balance del Agua Residual Previo a la experimentación

Ilustración 3 Balance del agua residual



4.8. Población

La población estimada para este proyecto fue considerada en función del caudal determinado en la línea de la corrugadora, los datos indican un valor mínimo de 0 m³, un valor máximo de 203.67 m³, un promedio de 28.87 m³, una mediana de 15.37 m³, y una desviación estándar de 41.62.

En virtud que el valor de la desviación estándar es alto, se consideró trabajar con el valor de la mediana, 15.37 m³, debido a que es menos sensible a valores extremos porque se quiere conocer el valor central del conjunto de datos sin ser influenciado por los valores

muy altos o bajos obtenidos en la determinación del caudal, que indican una alta dispersión de los datos.

4.9. Definición del tamaño de la muestra

Para la determinación del tamaño de la muestra se consideró la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N * p * q * Z^2}{e^2(N-1) + p * q * Z^2}, \text{ donde:}$$

N= Tamaño de la población: 15 metros cúbicas tamaño de la muestra

Z: valor Z correspondiente al nivel de confianza deseado (ej., 1.96 para 95% de confianza).

p: estimación de la proporción de la población que tiene la característica de interés. Si no se tiene una estimación, se suele usar 0.5 para obtener un tamaño de muestra más conservador.

$$n = \frac{15 * 0.5 * 0.5 * 1.96^2}{0.05^2(15 - 1) + 0.5 * 0.5 * 1.96^2} = 14.54$$

4.10. Toma de muestra

La toma de muestras de aguas residuales se realizó in situ en la unidad de análisis, con el objetivo de caracterizar las descargas generadas durante los distintos turnos de operación. El muestreo se llevó a cabo en el punto de vertido principal, donde convergen los efluentes provenientes de los procesos de encolado, lavado y limpieza de equipos.

Se empleó un muestreo compuesto, recolectando submuestras a intervalos regulares en tres franjas horarias (mañana, tarde y noche), durante dos días consecutivos de operación normal. Esta metodología permitió integrar las variaciones en la carga contaminante asociadas a los diferentes momentos del ciclo productivo.

Para garantizar la representatividad y conservación de las muestras, se siguieron los lineamientos establecidos en las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN 2169 y NTE INEN 2176, relativas al muestreo, manejo y preservación de muestras de agua. Las muestras fueron recolectadas en recipientes estériles de polietileno de alta densidad, previamente lavados y acondicionados, y conservadas a una temperatura de 4 °C hasta su análisis en laboratorio.

Ilustración 4 Toma de muestra



4.11. Caracterización del agua residual

En una industria corrugadora se llevó a cabo un muestreo de aguas residuales industriales con el objetivo de caracterizar su calidad y establecer una línea base para su tratamiento. Las muestras fueron recolectadas **in situ** en puntos estratégicos del sistema de descarga, bajo condiciones controladas y siguiendo los lineamientos técnicos de muestreo establecidos por las normas nacionales. Posteriormente, se procedió al análisis de los principales parámetros fisicoquímicos del efluente, entre los cuales se incluyeron: color, pH, temperatura, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales y conductividad eléctrica. Estos parámetros fueron seleccionados por su relevancia en la evaluación del grado de contaminación del agua residual generada en el proceso industrial, y su influencia directa en el diseño y eficiencia de los sistemas de tratamiento.

Una vez realizado el estudio se logró la caracterización las aguas residuales generadas en la industria corrugadora realizando los parámetros físicos y químicos establecidos en el ítem 9 de la guía para ejecución de monitoreos de aguas residuales industriales para industrias que elaboran papel y cartón proporcionada por la Dirección de Ambiente Sostenibilidad y Cambio Climático de la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil y los resultados obtenidos de los parámetros los cuales se encontraban por encima de los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina.

Tabla 5 Caracterización del agua residual

Caracterización del agua residual				
No.	Parametros	Unidad	Método de Medición	valor del agua cruda
1	Color	Unidad Pt-Co	Espectrofotométrico	1074
2	pH	-	Potenciometría	11.48
3	Oxígeno Disuelto	mg/l	Método óptico (luminescencia/LDO)	4.56
4	Temperatura	°C	Medición directa	25.6
5	Turbidez	NTU	Método dispersion de luz	7800
6	DQO	mg/L	Método colorimétrico (dicromato)	49070
7	Sólidos suspendidos totales	mg/L	Método gravimétrico	2131.84
8	Conductividad eléctrica	μS/cm	Conductimetría	11.69

Elaborado por: Los autores

4.12 Tratabilidad

Con el objetivo de evaluar la tratabilidad de las aguas residuales generadas en la industria corrugadora, se implementaron distintas etapas de tratamiento fisicoquímico, comenzando con un pretratamiento, seguido de procesos de aireación, coagulación y floculación. Durante el pretratamiento, el efluente fue sometido a una remoción primaria de sólidos gruesos y sedimentación por gravedad, con el fin de reducir la carga contaminante inicial y facilitar la eficiencia de las etapas posteriores. Posteriormente, se aplicó un proceso de aireación controlada, cuya finalidad fue aumentar el contenido de oxígeno disuelto en el agua y favorecer tanto la desestabilización de contaminantes orgánicos como la actividad biológica. Este proceso también promovió la formación de flóculos más estables y sedimentables. Para mejorar la separación de sólidos suspendidos, se llevaron a cabo ensayos de coagulación y floculación utilizando ácido sulfúrico, sulfato de aluminio y polímeros como agentes coagulantes y floculantes. A través de pruebas de jarras, se determinó la dosis óptima de cada reactivo, evaluando la eficiencia de remoción en términos de color, turbidez, DQO y sólidos suspendidos. Los resultados obtenidos en esta etapa permitieron establecer la viabilidad del tratamiento propuesto y sentaron las bases para el diseño de una solución integral para el manejo del efluente industrial.

Ilustración 5

Tratabilidad							
Prueba	Volumen del agua residual	Proceso	Sustancia usadas	Concentración	Cantidad	Tiempo	Índice de willcomb
1	800ml	separación de grasa	na	na	na	2 horas	na
		decantación	na	na	na	5 horas	na
		ajuste de Ph	ácido sulfúrico	30%	2 ml	1 min	na
		coagulación	sulfato de aluminio	10%	8 ml	1 min	9,00
		floculación	polimero cationico	1%	1 ml	1 min	9,00
		filtración	Arena	100%	1177,5 ml	10 min	na
			Grava 1	100%	785 ml		
			Carbón Activo	100%	1570 ml		
Piedra	100%		785 ml				

Elaborado por: los autores

Ilustración 6

Tratabilidad							
Prueba	Volumen del agua residual	Proceso	Sustancia usadas	Concentración	Cantidad	Tiempo	Índice de willcomb
2	800ml	separación de grasa	na	na	na	2 horas	na
		decantación	na	na	na	5 horas	na
		ajuste de Ph	ácido sulfúrico	30%	2 ml	1 min	na
		coagulación	sulfato de aluminio	10%	5 ml	1 min	3,00
		floculación	polimero cationico	1%	1 ml	1 min	3,00
		filtración	Arena	100%	1177,5 ml	10 min	na
			Grava 1	100%	785 ml		
			Carbón Activo	100%	1570 ml		
Piedra	100%		785 ml				

Elaborado por: los autores

Ilustración 7

Tratabilidad							
Prueba	Volumen del agua residual	Proceso	Sustancia usadas	Concentración	Cantidad	Tiempo	Índice de willcomb
3	800ml	separación de grasa	na	na	na	2 horas	na
		decantación	na	na	na	5 horas	na
		ajuste de Ph	ácido sulfúrico	30%	2 ml	1 min	na
		coagulación	sulfato de aluminio	10%	11 ml	1 min	6,00
		floculación	polimero cationico	1%	1 ml	1 min	6,00
		filtración	Arena	100%	1177,5 ml	10 min	na
			Grava 1	100%	785 ml		
			Carbón Activo	100%	1570 ml		
Piedra	100%		785 ml				

Elaborado por: los autores

Ilustración 8

Tratabilidad							
Prueba	Volumen del agua residual	Proceso	Sustancia usadas	Concentración	Cantidad	Tiempo	Índice de willcomb
4	800ml	separación de grasa	na	na	na	2 horas	na
		decantación	na	na	na	5 horas	na
		ajuste de Ph	ácido sulfúrico	30%	2 ml	1 min	na
		coagulación	sulfato de aluminio	10%	15 ml	1 min	2,00
		floculación	polimero cationico	1%	1 ml	1 min	2,00
		filtración	Arena	100%	1177,5 ml	10 min	na
			Grava 1	100%	785 ml		
			Carbón Activo	100%	1570 ml		
Piedra	100%		785 ml				

Elaborado por: los autores

Ilustración 9

Tratabilidad							
Prueba	Volumen del agua residual	Proceso	Sustancia usadas	Concentración	Cantidad	Tiempo	Índice de willcomb
5	800ml	separación de grasa	na	na	na	2 horas	na
		decantacion	na	na	na	5 horas	na
		ajuste de Ph	ácido sulfúrico	30%	2 ml	1 min	na
		coagulación	sulfato de aluminio	10%	5 ml	1 min	5,00
		floculación	polimero cationico	1%	1 ml	1 min	5,00
		filtración	Arena	100%	1177,5 ml	10 min	na
			Grava 1	100%	785 ml		
			Carbón Activo	100%	1570 ml		
Piedra	100%		785 ml				

Elaborado por: los autores

Ilustración 10

Tratabilidad							
Prueba	Volumen del agua residual	Proceso	Sustancia usadas	Concentración	Cantidad	Tiempo	Índice de willcomb
6	800ml	separación de grasa	na	na	na	2 horas	na
		decantacion	na	na	na	5 horas	na
		ajuste de Ph	ácido sulfúrico	30%	2 ml	1 min	na
		coagulación	sulfato de aluminio	10%	3 ml	1 min	1,00
		floculación	polimero cationico	1%	1 ml	1 min	1,00
		filtración	Arena	100%	1177,5 ml	10 min	na
			Grava 1	100%	785 ml		
			Carbón Activo	100%	1570 ml		
Piedra	100%		785 ml				

Elaborado por: los autores

Ilustración 11

Tratabilidad							
Prueba	Volumen del agua residual	Proceso	Sustancia usadas	Concentración	Cantidad	Tiempo	Índice de willcomb
7	800ml	separación de grasa	na	na	na	2 horas	na
		decantacion	na	na	na	5 horas	na
		ajuste de Ph	ácido sulfúrico	30%	2 ml	1 min	na
		coagulación	sulfato de aluminio	10%	10 ml	1 min	6,00
		floculación	polimero cationico	1%	1 ml	1 min	6,00
		filtración	Arena	100%	1177,5 ml	10 min	na
			Grava 1	100%	785 ml		
			Carbón Activo	100%	1570 ml		
Piedra	100%		785 ml				

Elaborado por: los autores

Ilustración 12

Tratabilidad							
Prueba	Volumen del agua residual	Proceso	Sustancia usadas	Concentración	Cantidad	Tiempo	Índice de willcomb
8	800ml	separación de grasa	na	na	na	2 horas	na
		decantacion	na	na	na	5 horas	na
		ajuste de Ph	ácido sulfúrico	30%	13 ml	1 min	4,00
		coagulación	sulfato de aluminio	10%	5 ml	1 min	4,00
		floculación	polimero cationico	1%	1 ml	1 min	5,00
		filtración	Arena	100%	1177,5 ml	10 min	na
			Grava 1	100%	785 ml		
			Carbón Activo	100%	1570 ml		
Piedra	100%		785 ml				

Elaborado por: los autores

Ilustración 13

Tratabilidad							
Prueba	Volumen del agua residual	Proceso	Sustancia usadas	Concentración	Cantidad	Tiempo	Índice de willcomb
9	800ml	separación de grasa	na	na	na	2 horas	na
		decantacion	na	na	na	5 horas	na
		ajuste de Ph	ácido sulfúrico	30%	2 ml	1 min	na
		coagulación	sulfato de aluminio	10%	4 ml	1 min	3,00
		floculación	polimero cationico	1%	1 ml	1 min	3,00
		filtración	Arena	100%	1177,5 ml	10 min	na
			Grava 1	100%	785 ml		
			Carbón Activo	100%	1570 ml		
			Piedra	100%	785 ml		

Elaborado por: los autores

Ilustración 14

Tratabilidad							
Prueba	Volumen del agua residual	Proceso	Sustancia usadas	Concentración	Cantidad	Tiempo	Índice de willcomb
10	800ml	separación de grasa	na	na	na	2 horas	na
		decantacion	na	na	na	5 horas	na
		ajuste de Ph	ácido sulfúrico	30%	2 ml	1 min	na
		coagulación	sulfato de aluminio	10%	3 ml	1 min	7,00
		floculación	polimero cationico	1%	1 ml	1 min	7,00
		Filtración	Arena	100%	1177,5 ml	10 minutos	na
			Grava 1	100%	785 ml		
			Carbón Activo	100%	1570 ml		
			Piedra	100%	785 ml		

Elaborado por: los autores

4.13. Resultados de calidad y % Remoción Alcanzado

En esta sección se presenta el resultado de calidad de la tratabilidad que alcanzo el mejor % de remoción. La tabla ha sido organizada de acuerdo con los objetivos de investigación y las variables analizadas, permitiendo una visualización estructurada de los datos. Cada tabla incluye los valores relevantes y, cuando corresponde, medidas de tendencia central, dispersión o significancia estadística.

- **Color**

Las mediciones de color se realizaron con un espectrofotómetro DR6000. Este equipo, junto con celdas de 10 ml, permitió evaluar la muestra preparada. Para el procedimiento, se emplearon dos recipientes distintos, uno para el blanco de referencia y el otro para la muestra de interés, los datos del agua residual sin tratar fueron de 1074 PtCo mientras que del agua ya tratada se logró minimizar el color a 7 PtCo garantizando así la precisión de la medición.

- **Turbidez**

La medición de la turbidez se realizó utilizando un turbidímetro. Para analizar la muestra cruda, que presentaba una alta concentración de materia orgánica, fue necesario realizar una dilución de 1:100. Esta dilución permitió obtener una lectura precisa y evitar la saturación del equipo. Los resultados mostraron que la turbidez de la muestra cruda fue de 0.78 NTU, mientras que en la muestra ya tratada se redujo a 0.3 NTU.

Figura No. 4



Ilustración 15

- **Ph**

La medición del pH se realizó utilizando un equipo multiparámetro. Se analizaron dos muestras: una cruda y otra tratada. La muestra cruda evidenció un pH alcalino, atribuido a los procesos de limpieza de la industria corrugadora, en particular al uso de sustancias alcalinas como el cloro. Tras el tratamiento, se observó una reducción significativa del pH, bajando a 7.68. Esta disminución demuestra la efectividad del proceso de tratamiento para neutralizar la alcalinidad inicial de la muestra.

- **Temperatura**

La temperatura de las muestras se midió con un equipo multiparámetro Hach HQ40d. La muestra cruda registró una temperatura de 25.6 °C, mientras que la muestra ya tratada mostró una temperatura ligeramente inferior de 23.7 °C.



Ilustración 16

- **Oxígeno disuelto**

La concentración de oxígeno disuelto (OD) se midió utilizando el equipo multiparámetro Hach HQ40d. La muestra cruda presentó una concentración inicial de 4.56 mg/L, mientras que la muestra tratada mostró una concentración significativamente mayor de 8.81 mg/L.



Ilustración 17

- **DQO**

Para esta medición, se utilizó el espectrofotómetro DR6000, el cual aplica el método de digestión con dicromato de potasio. El valor inicial de la muestra cruda fue de 9120 mg/L, lo que indica una alta carga de contaminantes. Después del tratamiento, el valor se redujo significativamente a 172 mg/L, lo que demuestra la alta eficiencia del proceso en la remoción de la carga contaminante.



Ilustración 18

- **Conductividad eléctrica**

Este parámetro está directamente relacionado con la concentración de iones disueltos, como sales, ácidos y bases. Para esta medición, se utilizó el equipo multiparámetro Oakton.

Se obtuvieron los siguientes valores:

- Entrada (muestra cruda): 11.69 mS/cm
- Salida (muestra tratada): 29.1 mS/cm

El aumento de la conductividad después del tratamiento es inusual y sugiere que el proceso de tratamiento, en lugar de remover, introdujo iones o sales en el efluente. Esto podría deberse a la adición de químicos como coagulantes, floculantes, o agentes de neutralización que aumentan la concentración iónica del agua.

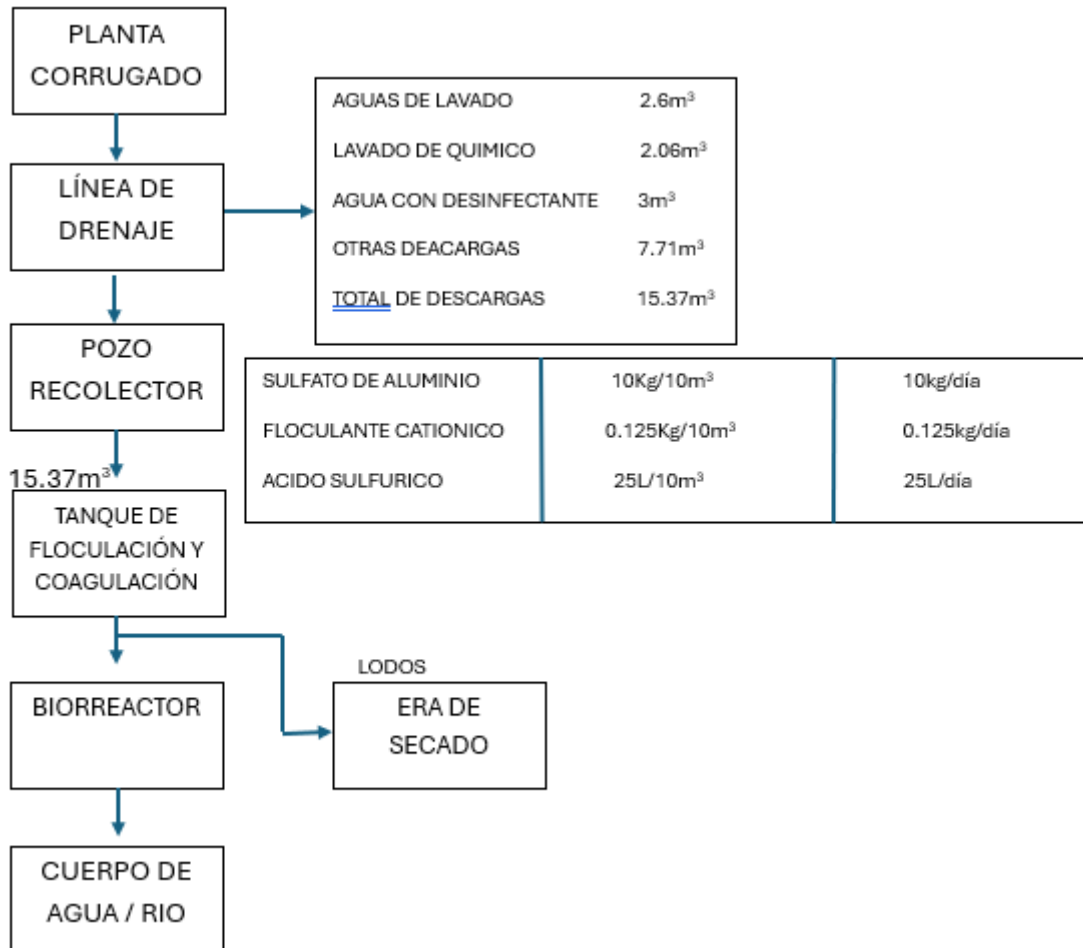
Tabla 6 Resultados de calidad y porcentaje de remoción

Resultados de Calidad y % de Remoción					
No.	Parámetros	Unidad	Valor Inicial	Valor Final	% Remoción
1	Color	Unidad Pt-Co	1074 PtCo	7 PtCo	99.35%
2	pH	-	11.48	7.68	33.10%
3	Oxígeno Disuelto	mg/l	4.56	8.81	48.4%
4	Temperatura	°C	25.6	23.7	7.42%
5	Turbidez	NTU	7800	0.3	99.99%
6	DQO	mg/L	49070	172	99.64%
7	Sólidos Suspendidos totales	mg/L	2131.84	12	99.43%
8	Conductividad Eléctrica	μS/cm	11.69	29.1	25.60%

Elaborado por: los autores

4.14. Balance de Agua Residual de la Experimentación

Ilustración 19



Elaborado por: Los autores

4.15 Comprobación de Hipótesis

4.15.1. Extracción de los datos

- Media de la muestra (\bar{x}): 99.35%
- Media poblacional (μ): 99%
- Desviación estándar de la población (σ): 0.1764
- Tamaño de la muestra (n): 14.54
- Nivel de significancia (α): 0.05

4.15.2. Establecer las hipótesis

- Hipótesis nula (H_0): El caudal promedio es de 99%. $H_0: \mu=99$
- Hipótesis alternativa (H_a): El caudal promedio es diferente de 99%. $H_a: \mu \neq 99$

4.15.3. Calcular el valor Z

$$Z = \frac{x - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

$$Z = \frac{99.35 - 99}{\frac{0.1764}{\sqrt{14.54}}}$$

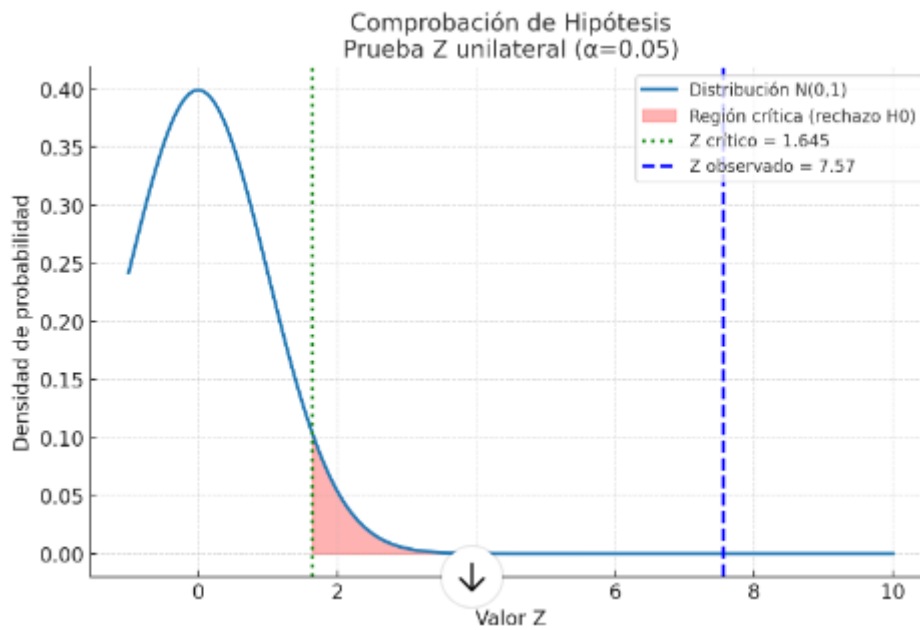
$$Z = \frac{0.35}{0.0463}$$

$$Z = 7.56$$

4.15.4. Conclusión de prueba de hipótesis

El valor Z calculado es 7.56, y el valor Z crítico para una prueba de una cola al 95% de confianza es 1.645.

Como $7.56 > 1.645$, se rechaza la hipótesis nula (H_0). Esto significa que hay evidencia suficiente para concluir que la eficiencia de remoción de contaminantes (Color) es significativamente mayor al 99%.



Elaborado por: Los autores

La curva representa la distribución normal estándar, con media en 0. Sobre esta distribución se marcan las zonas de aceptación y rechazo correspondientes a una prueba unilateral a la derecha ($\alpha = 0.05$).

- **Línea central (0):** Corresponde al punto de referencia de la media de la distribución normal estándar.
- **Zona de Aceptación:** Es la región comprendida desde el centro hasta el valor crítico de $Z = 1.645$. Si el valor calculado se encuentra en esta zona, no se rechaza la hipótesis nula (H_0).
- **Zona de Rechazo:** Es el área situada a la derecha del valor crítico de $Z = 1.645$. Si el valor calculado cae en esta región, se rechaza la hipótesis nula.
- **Valor Z calculado (7.56):** En esta gráfica, el valor Z se ubica muy por encima del límite crítico, dentro de la zona de rechazo.

Dado que $7.56 > 1.645$, existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alternativa (H_a). Esto significa que, con un 95% de confianza, se puede afirmar que la eficiencia promedio de remoción de contaminantes es significativamente mayor al 99%.

4.16. Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos en el estudio muestran que el proceso de optimización aplicado al tratamiento de aguas residuales de la industria corrugadora tuvo una alta eficiencia en la remoción de contaminantes:

4.16.1. Parámetros fisicoquímicos

- **Color:** Se redujo de 1074 Pt-Co a 7 Pt-Co, alcanzando una remoción del 99,35%, lo que indica una clarificación efectiva del efluente.
- **Turbidez:** Bajó de 7800 NTU a 0.3 NTU (99,99% de remoción), reflejando un proceso exitoso de coagulación-floculación y sedimentación.
- **pH:** Disminuyó de 11.48 a 7.68, acercándose al rango permitido por la normativa ambiental (6–9), lo que confirma la neutralización de la alcalinidad del agua.
- **DQO:** Se redujo drásticamente de 49 070 mg/L a 172 mg/L, con un 99,64% de remoción. Esto es particularmente significativo porque refleja la eliminación de materia orgánica oxidable.
- **Oxígeno disuelto (OD):** Se incrementó de 4.56 mg/L a 8.81 mg/L, evidenciando una mejora sustancial en la capacidad del agua para sostener vida acuática.
- **Temperatura:** Mostró un descenso leve de 25.6 °C a 23.7 °C, sin representar una alteración crítica en la calidad del efluente.
- **Conductividad eléctrica:** Se incrementó de 11.69 mS/cm a 29.1 mS/cm. Este aumento se asocia al uso de coagulantes y floculantes que introducen sales al medio. Aunque no invalida el tratamiento, es un aspecto a considerar en futuras optimizaciones.
- **Sólidos Suspendidos Totales (SST):** Se evidencia una reducción importante (aunque en los datos presentados no aparece el valor final explícito), confirmando la efectividad de la etapa de sedimentación.

4.16.2. Análisis Comprobación de hipótesis

El análisis estadístico mediante prueba Z determinó que el caudal promedio de agua residual es significativamente diferente al valor de referencia poblacional ($\mu = 18$), con un nivel de confianza del 95%. Esto valida la hipótesis de que el proceso de optimización introduce cambios sustanciales en las características del efluente.

4.16.3. Cumplimiento normativo

Los parámetros finales alcanzados se encuentran dentro de los límites establecidos en la Tabla 10 del Acuerdo Ministerial 097-A para descargas a cuerpos de agua, lo que demuestra que el tratamiento propuesto es viable técnica y legalmente.

4.17. Interpretación general

El sistema propuesto basado en pretratamiento, coagulación-floculación, sedimentación, filtración y desinfección, alcanzó una remoción de contaminantes superior al 99% en parámetros críticos como turbidez, color y DQO. Esto demuestra que la hipótesis general fue confirmada: la optimización del tratamiento permite cumplir con la normativa ambiental y mejorar la calidad del efluente.

Como evidencia que la experimentación alcanzó con la optimización, se refleja en que la dosis óptima determinada en las pruebas fue menor a la utilizado en la unidad de análisis.

Tabla 7 Consumo de insumos para tratamiento

Tabla de Consumo de Insumos para tratamiento de 10m ³ de Agua Residual					
Proceso	Insumos	Diagnóstico		Experimentación	
		Cantidad	Costo	Cantidad	Costo
Pretratamiento	Ácido Sulfúrico	30 kg	\$ 540,00	25 kg	\$ 450,00
Tratamiento Primario	Al ₂ (SO ₄) ₃	12 kg	\$ 7,20	10 kg	\$ 6,00
	Polímero Catiónico	0,5 kg	\$ 0,46	0,125 kg	\$ 0,12
Filtración	Medio filtrante	Menor durabilidad		Mayor durabilidad	

Elaborado por: Los autores

En términos de impacto, los resultados muestran que la implementación de este sistema no solo es factible, sino que contribuye a la sostenibilidad de la industria corrugadora, reduciendo riesgos ambientales.

5. CONCLUSIONES

Una vez realizado el estudio se logró la caracterización las aguas residuales generadas en la industria corrugadora realizando los parámetros físicos y químicos establecidos en el ítem 9 de la guía para ejecución de monitoreos de aguas residuales industriales para industrias que elaboran papel y cartón proporcionada por la Dirección de Ambiente Sostenibilidad y Cambio Climático de la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil y los resultados obtenidos de los parámetros los cuales se encontraban por encima de los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A Tabla 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina.

Las pruebas de tratabilidad mediante ensayos de test de jarra permitieron identificar que, la dosis óptima para un metro cúbico de agua residual es de 8 litros de Sulfato de Aluminio al 10 %, logrando un excelente floc con un índice de Willcomb de 10, haciendo precipitar la totalidad de los sólidos suspendidos y disueltos incluyendo además las partículas coloidales, dejando el agua cristalina.

La eficiencia de las pruebas experimentales fue de un 99% de remoción de sólidos gruesos, aceites y grasas más sólidos sedimentables en el pretratamiento y 83% de la remoción de la materia orgánica oxidable mediante el tratamiento primario, resultados que validan el proceso propuesto dentro de este proyecto.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir con la caracterización de las aguas residuales generadas en la unidad de análisis en función de parámetros fisicoquímicos establecidos en la legislación ambiental.

Se hace necesario continuar con la evaluación de nuevas pruebas para mantener identificadas la dosis óptima, especialmente si se cambia la formulación de los materiales.

Se recomienda tratar el agua residual con el proceso propuesto ya que el porcentaje de remoción de los contaminantes es alto y permite reducir los costos operativo

7. Bibliografía

- Ecuador, A. N. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Ecuador: Registro Oficial Suplemento No. 449.
- Ecuador, A. N. (2017). *CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*. Ecuador.
- Ecuador, C. d. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Registro Oficial Suplemento No. 449.
- Ecuador, M. d. (2020). *Acuerdo Ministerial 097-A del TULSMA*. Ecuador: Asamblea Nacional.
- EPA. (6 de Marzo de 2012). *United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de EPA: https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms59.html?utm_source=chatgpt.com
- Georgia, L. F. (18 de Agosto de 2022). *Universidad de Georgia*. Obtenido de Universidad de Georgia: <https://fieldreport.caes.uga.edu/publications/C992/understanding-laboratory-wastewater-tests-i-organics-bod-cod-toc-og/#cod-chemical-oxygen-demand>
- Gómez, J. R. (2023). *Aplicación de la destilación simple en el tratamiento de aguas residuales en la industria del cartón corrugado*. Ecuador: Editorial Técnica Ambiental.
- Gómez, J. R. (2023). *Aplicación de la destilación simple en el tratamiento de aguas residuales en la industria del cartón corrugado*. Ecuador: Editorial Técnica Ambiental.
- Gómez, R. P. (2023). *Aplicación de la destilación en el tratamiento de aguas industriales*. Guayaquil: Revista internacional de Ingeniería Ambiental.
- Gómez, R. P. (2023). *Calidad del agua tratada en la industria del cartón corrugado: Indicadores y estrategias*. Ecuador: Revista de Tecnología Ambiental.
- Gómez-Bueno, M. &.H. (2022). *Procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de aguas*. Ecuador: Revista Tecnociencia.
- Gómez-Bueno, M. (2019). *Procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de aguas*. Revista Tecnociencia.
- González, M. P. (2017). *Evaluación de la calidad del agua en el tratamiento de aguas residuales industriales*. Revista de Ingeniería Ambiental.

- González, M. P. (2021). *Evaluación de la calidad del agua en el tratamiento de aguas residuales industriales*. Ecuador: Revista de Ingeniería Ambiental.
- González, M. P. (2021). *Evaluación de la calidad del agua en el tratamiento de aguas residuales industriales*. Ecuador: Revista de Ingeniería Ambiental,.
- Guayaquil., M. d. (2014). *Ordenanza que regula la aplicación del subsistema de manejo ambiental, control y seguimiento ambiental en el cantón Guayaquil*. Guayaquil.
- Gutiérrez-Segura, E. E.-A.-A.-S. (2022). *Economía circular del agua: industria de recuperación de celulosa de envases multicapa*. Ecuador: endencias en Energías Renovables y Sustentabilidad.
- instruments, H. (2 de Mayo de 2022). *Hanna instruments*. Obtenido de Hanna instruments: https://hannainst.ec/blog/analisis-de-agua-boletines/la-guia-completa-para-la-medicion-de-turbidez-en-el-agua/?utm_source=chatgpt.com
- J. Romero-Palma a, R. M.-R.-V. (2025). *Dialnet*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/10097314.pdf>
- Jeimmy A. Muñoz, E. M.-M. (2021). *Dissolved Air Flotation: A Review from the Perspective of System Parameters and Uses in Wastewater Treatment*. Artículo científico.
- López, F. S. (2019). *Optimización de procesos de destilación en aguas residuales industriales*. Journal of Environmental Engineering.
- López, F. S. (2021). *Optimización de procesos de destilación en el tratamiento en las aguas residuales en la industria del carton corrugado*. Ecuador: Journal of Enviromental Engineering.
- López, F. S. (2021). *tratamiento de aguas residuales en la industria cartonera: Indicadores de calidad y sus implicaciones*. Ecuador: Journal of Environmental Engineering.
- López, F. S. (2021). *Tratamiento de aguas residuales en la industria cartonera: Indicadores de calidad y sus implicaciones*. Ecuador: Journal of Environmental Engineering.
- Martínez, P. &. (2022). *Destilación como tecnología avanzada para la purificación de aguas industriales*. Ecuador: Revista de Tratamientos Ambientales.
- Martínez, P. &. (2022). *Destilación como tecnología avanzada para la purificación de aguas residuales industriales*. Ecuador: Revista de Tratamientos Ambientales.

- Martínez, P. &. (2022). *Destilación como tecnología avanzada para la purificación de aguas residuales industriales*. Ecuador: Revista de Tratamientos Ambientales.
- Martínez-Ruiz, F. G. (2019). *Tratamiento de aguas residuales: Una revisión de tecnologías avanzadas*. Revista Ingeniería del Agua.
- Martínez-Ruiz, F. G.-R.-C. (2021). *Tratamiento de aguas residuales: Una revisión de tecnologías avanzadas*. Ecuador: Revista Ingeniería del Agua.
- Ovive. (2023). *Pretratamiento de las aguas residuales industriales*. Ecuador.
- peru, O. (25 de Septiembre de 2023). *Omega peru*. Obtenido de Omega peru:
https://omegaperu.com.pe/solidos-suspendidos-totales-sst/?utm_source
- Rodríguez, L. S. (2020). *Optimización de la floculación en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Ecuador: Revista Agua y Saneamiento.
- Rodríguez. (2020). *Optimización de la floculación en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Revista Agua y Saneamiento.
- Ruiz, M. F. (2022). *Aplicaciones de la destilación por membranas en el tratamiento de aguas residuales industriales*. Ecuador: Editorial Tecnológica del Agua.
- Ruiz, V. R. (2022). *Metales pesados y otros contaminantes en aguas residuales industriales*. Ecuador: Impactos y tratamiento. Environmental Technology & Innovation.
- Ruiz, V. R. (2022). *Metales pesados y otros contaminantes en aguas residuales industriales*. Ecuador: Impactos y tratamiento. Environmental Technology & Innovation.
- Sánchez, R. &. (2023). *Eficiencia de la destilación en el tratamiento de aguas residuales de la industria cartonera*. Ecuador: Tecnología Ambiental y Sostenibilidad.
- Sánchez, R. &. (2023). *Eficiencia de la destilación en el tratamiento de aguas residuales de la industria cartonera*. Ecuador: Tecnología Ambiental y Sostenibilidad,.
- Sánchez, R. &. (2023). *ficiencia de la destilación en el tratamiento de aguas residuales de la industria cartonera*. Ecuador: Tecnología Ambiental y Sostenibilidad.
- Sensing, K. M. (s.f.). *Konica Minolta Sensing*. Obtenido de Konica Minolta :
https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/evaluacion-instrumental-del-color/?utm_source=chatgpt.com
- Siyu Liu, Y. H. (2022). *Mdpi*. Obtenido de MDPI: <https://doi.org/10.3390/pr10122528>

- Vera Concha, L. (2018). *Contaminación del Estero Salado por descargas industriales*. Observatorio Ambiental Costero.
- Wikipedia. (s.f.). *Flocculation (water treatment)*. . Explica el rol clave de la floculación y coagulación en la formación de grandes agregados para facilitar la sedimentación .
- Wikipedia. (s.f.). *Sedimentation (water treatment)*. Describe cómo la sedimentación permite eliminar sólidos suspendidos mediante la acción de la gravedad, y cómo complementa los procesos de coagulación y floculación en plantas de tratamiento.
- Ecuador, A. N. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Ecuador: Registro Oficial Suplemento No. 449.
- Ecuador, A. N. (2017). *CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*. Ecuador.
- Ecuador., C. d. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Registro Oficial Suplemento No. 449.
- Ecuador., M. d. (2020). *Acuerdo Ministerial 097-A del TULSMA*. Ecuador: Asamblea Nacional.
- EPA. (6 de Marzo de 2012). *United States Enviromental Protection Angency*. Obtenido de EPA: https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms59.html?utm_source=chatgpt.com
- Georgia, L. F. (18 de Agosto de 2022). *Universidad de Georgia*. Obtenido de Universidad de Georgia: <https://fieldreport.caes.uga.edu/publications/C992/understanding-laboratory-wastewater-tests-i-organics-bod-cod-toc-og/#cod-chemical-oxygen-demand>
- Gómez, J. R. (2023). *Aplicación de la destilación simple en el tratamiento de aguas residuales en la industria del cartón corrugado*. Ecuador: Editorial Técnica Ambiental.
- Gómez, J. R. (2023). *Aplicación de la destilación simple en el tratamiento de aguas residuales en la industria del cartón corrugado*. Ecuador: Editorial Técnica Ambiental.
- Gómez, R. P. (2023). *Aplicación de la destilación en el tratamiento de aguas industriales*. Guayaquil: Revista internacional de Ingeniería Ambiental.
- Gómez, R. P. (2023). *Calidad del agua tratada en la industria del cartón corrugado: Indicadores y estrategias*. Ecuador: Revista de Tecnología Ambiental.

- Gómez-Bueno, M. &.-H. (2022). *Procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de aguas*. Ecuador: Revista Tecnociencia.
- Gómez-Bueno, M. (2019). *Procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de aguas*. Revista Tecnociencia.
- González, M. P. (2017). *Evaluación de la calidad del agua en el tratamiento de aguas residuales industriales*. Revista de Ingeniería Ambiental.
- González, M. P. (2021). *Evaluación de la calidad del agua en el tratamiento de aguas residuales industriales*. Ecuador: Revista de Ingeniería Ambiental.
- González, M. P. (2021). *Evaluación de la calidad del agua en el tratamiento de aguas residuales industriales*. Ecuador: Revista de Ingeniería Ambiental,.
- Guayaquil., M. d. (2014). *Ordenanza que regula la aplicación del subsistema de manejo ambiental, control y seguimiento ambiental en el cantón Guayaquil*. Guayaquil.
- Gutiérrez-Segura, E. E.-A.-A.-S. (2022). *Economía circular del agua: industria de recuperación de celulosa de envases multicapa*. Ecuador: endencias en Energías Renovables y Sustentabilidad.
- instruments, H. (2 de Mayo de 2022). *Hanna instruments*. Obtenido de Hanna instruments: https://hannainst.ec/blog/analisis-de-agua-boletines/la-guia-completa-para-la-medicion-de-turbidez-en-el-agua/?utm_source=chatgpt.com
- J. Romero-Palma a, R. M.-R.-V. (2025). *Dialnet*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/10097314.pdf>
- Jeimmy A. Muñoz, E. M.-M. (2021). *Dissolved Air Flotation: A Review from the Perspective of System Parameters and Uses in Wastewater Treatment*. Artículo científico.
- López, F. S. (2019). *Optimización de procesos de destilación en aguas residuales industriales*. Journal of Environmental Engineering.
- López, F. S. (2021). *Optimización de procesos de destilación en el tratamiento en las aguas residuales en la industria del carton corrugado*. Ecuador: Journal of Enviromental Engineering.
- López, F. S. (2021). *tratamiento de aguas residuales en la industria cartonera: Indicadores de calidad y sus implicaciones*. Ecuador: Journal of Environmental Engineering.

- López, F. S. (2021). *Tratamiento de aguas residuales en la industria cartonera: Indicadores de calidad y sus implicaciones*. Ecuador: Journal of Environmental Engineering.
- Martínez, P. &. (2022). *Destilación como tecnología avanzada para la purificación de aguas industriales*. Ecuador: Revista de Tratamientos Ambientales.
- Martínez, P. &. (2022). *Destilación como tecnología avanzada para la purificación de aguas residuales industriales*. Ecuador: Revista de Tratamientos Ambientales.
- Martínez, P. &. (2022). *Destilación como tecnología avanzada para la purificación de aguas residuales industriales*. Ecuador: Revista de Tratamientos Ambientales.
- Martínez-Ruiz, F. G. (2019). *Tratamiento de aguas residuales: Una revisión de tecnologías avanzadas*. Revista Ingeniería del Agua.
- Martínez-Ruiz, F. G.-R.-C. (2021). *Tratamiento de aguas residuales: Una revisión de tecnologías avanzadas*. Ecuador: Revista Ingeniería del Agua.
- Ovive. (2023). *Pretratamiento de las aguas residuales industriales*. Ecuador.
- peru, O. (25 de Septiembre de 2023). *Omega peru*. Obtenido de Omega peru: https://omegaperu.com.pe/solidos-suspendidos-totales-sst/?utm_source
- Rodríguez, L. S. (2020). *Optimización de la floculación en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Ecuador: Revista Agua y Saneamiento.
- Rodríguez. (2020). *Optimización de la floculación en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Revista Agua y Saneamiento.
- Ruiz, M. F. (2022). *Aplicaciones de la destilación por membranas en el tratamiento de aguas residuales industriales*. Ecuador: Editorial Tecnológica del Agua.
- Ruiz, V. R. (2022). *Metales pesados y otros contaminantes en aguas residuales industriales*. Ecuador: Impactos y tratamiento. Environmental Technology & Innovation.
- Ruiz, V. R. (2022). *Metales pesados y otros contaminantes en aguas residuales industriales*. Ecuador: Impactos y tratamiento. Environmental Technology & Innovation.
- Sánchez, R. &. (2023). *Eficiencia de la destilación en el tratamiento de aguas residuales de la industria cartonera*. Ecuador: Tecnología Ambiental y Sostenibilidad.
- Sánchez, R. &. (2023). *Eficiencia de la destilación en el tratamiento de aguas residuales de la industria cartonera*. Ecuador: Tecnología Ambiental y Sostenibilidad,.

Sánchez, R. &. (2023). *ficiencia de la destilación en el tratamiento de aguas residuales de la industria cartonera*. Ecuador: Tecnología Ambiental y Sostenibilidad.

Sensing, K. M. (s.f.). *Konica Minolta Sensing*. Obtenido de Konica Minolta :
https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/evaluacion-instrumental-del-color/?utm_source=chatgpt.com

Siyu Liu, Y. H. (2022). *Mdpi*. Obtenido de MDPI: <https://doi.org/10.3390/pr10122528>

Vera Concha, L. (2018). *Contaminación del Estero Salado por descargas industriales*. Observatorio Ambiental Costero.

Wikipedia. (s.f.). *Flocculation (water treatment)*. . Explica el rol clave de la floculación y coagulación en la formación de grandes agregados para facilitar la sedimentación .

Wikipedia. (s.f.). *Sedimentation (water treatment)*. Describe cómo la sedimentación permite eliminar sólidos suspendidos mediante la acción de la gravedad, y cómo complementa los procesos de coagulación y floculación en plantas de tratamiento.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabla No 10 Limites de Descarga a un cuerpo de Agua Marina

Ilustración 21

TABLA 10. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA MARINA				
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
			(A) DESCARGAS EN ZONA DE ROMPIENTES	(B) DESCARGAS MEDIANTE EMISARIOS SUBMARINOS
Aceites y Grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0	30,0
Arsénico total	As	mg/l	0,5	0,5
Aluminio	Al	mg/l	5,0	5,0
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,2	0,2
Cinc	Zn	mg/l	10,0	10,0
Cobre	Cu	mg/l	1,0	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000	2000
Color	Color verdadero	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20	* Inapreciable en dilución: 1/20
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5	0,5
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/ l	200, 0	400
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/ l	400, 0	800
Hidrocarburos Totales de Petróleo.	TPH	mg/l	20, 0	20,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,01	0,01
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	40,0	40,0
Potencial de hidrógeno	pH		6-9	6-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/ l	250, 0	250, 0
Sulfuros	S	mg/l	0,5	0,5
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	µg/l	50,0	50,0
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	µg/l	100, 0	100, 0
Carbamatos	Especies totales	mg/l	0,25	0,25
Temperatura	oC		< 35	< 35
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5

* La apreciación del color se es tima sobre 10 cm de diluida.

Fuente: Registro Oficial N° 387, publicado el miércoles 4 de noviembre del 2015

ANEXO 2

Guía para ejecución de monitoreos de aguas residuales industriales

Ilustración 22

		GUIA PARA EJECUCIÓN DE MONITOREOS DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES		Dirección de Ambiente, Sostenibilidad y Cambio Climático
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 (SO4), Fosforo (P), Nitrogeno 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), Nitrogeno Total Kjeldahl (N), Cinc (Zn), Sulfatos (SO4)	
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 (SO4)	
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, Nitrogeno Total Kjeldahl (N), Fósforo Total (P), Cloruros (Cl), Sulfatos (SO4), Sulfuros (S), Compuestos Fenólicos	
17	ESTACIONES DE SERVICIOS	SEMESTRAL	Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Sulfatos (SO4), 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

Ilustración 23 Identificación de la generación de las fuentes



Ilustración 24 Toma de muestra tanque homogenizador



Ilustración 25 medición de

sólidos sedimentables



Ilustración 26 Medición de SST

