Sede Central

Licenciatura en Ingeniería en Salud Ocupacional y Ambiente

Tema:

Desarrollo de una propuesta de tratamiento y disposición para el agua residual especial contaminada con adhesivo químico en Impresora Delta S.A.

Trabajo Final de Graduación presentada como requisito para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Salud Ocupacional y Ambiente

Presentado por:

Ing. María Fernanda Bolaños Barrantes, 207350589

Ing. Héctor Iván Brenes Sánchez, 604030084

Ing. Julio César Castillo Fuentes, 206180456

Alajuela, 17 de marzo del 2021

Hoja de Aprobación

Proyecto de graduación, con presentación oral, expuesto públicamente como requisito para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Salud Ocupacional y Ambiente de la Universidad Técnica Nacional, Sede Central, ante el Tribunal evaluador, integrado por:

M.Sc. Carlos Mora Sánchez

Director de Carrera

M.Sc. Javier Chacón Barrantes

Profesor Tutor

Lic. Alejandra Castro Benítez

Profesor Lector

M.Sc. Jaime Méndez Piedra

Profesor Lector

M.Sc. Francisco Salgado Solano

Representante Sector Productivo

Alajuela, 17 de marzo del 2021

Dedicatoria

Primeramente, gracias a Dios por permitirme el don de la salud y el trabajo; también, un agradecimiento especial a mi madre, padre, familia y amistades, quienes me ayudaron y apoyaron en todas las etapas de mis estudios, ya que fueron mis pilares y motivación para concluir esta etapa de mi vida.

Héctor Iván Brenes Sánchez

Dedico este proyecto de graduación, principalmente, a Dios, por brindarme la salud, sabiduría e iluminarme y estar a mi lado en todo momento. A mis padres, hermanas y amigos incondicionales, quienes, a pesar de todo el distanciamiento que hemos tenido debido a la pandemia, siempre me han mostrado toda esa ayuda desinteresada y apoyo incondicional para enfrentar cada uno de los obstáculos presentes en la vida. Gracias a sus ejemplos he cumplido, con gran trabajo y esfuerzo, una de mis metas.

María Fernanda Bolaños Barrantes

Primeramente, gracias a Dios por todas las bendiciones que me brinda; también, un agradecimiento especial a mi madre, quien me apoyó en todas las etapas de mis estudios; a mi esposa, por su paciencia y apoyo durante este tiempo de mucho trabajo y a mi hija Camila, por darme las fuerzas para culminar esta meta.

Julio Castillo Fuentes

Agradecimientos

Queremos brindarle, primeramente, un profundo agradecimiento a Dios, ya que nos otorgó la salud y nos iluminó en todo momento para desarrollar esta tesis que, como meta, nos permitió culminar con éxito y satisfacción nuestro trabajo de investigación.

Agradecemos a la empresa Impresora Delta S.A., por darnos la confianza para abordar este proyecto y brindarle una solución de tratamiento más económica, eficiente y sostenible con el medio ambiente.

Además, agradecemos grandemente, y de manera muy especial, al Ing. Javier Chacón Barrantes, nuestro tutor de proyecto, porque fue guía fundamental, fuente de conocimiento, experiencia y un elemento indispensable para el desarrollo de este gran trabajo con la excelencia requerida.

También, mostramos agradecimiento a la Ing. Alejandra Castro Benítez y al Ing. Jaime Piedra Méndez, lectores, ya que nos brindaron conocimientos para elaborar la propuesta de tratamiento y disposición del agua residual especial contaminada con adhesivo químico, piezas fundamentales para culminar este proyecto.

Tabla de contenido

Hoja de Aprobación ii
Dedicatoria iii
Agradecimientos iv
Índice de figuras vii
Índice de tablas viii
Índice de gráficos ix
Resumen x
Capítulo 1. Introducción 1
1.1 Tipo de Investigación 2
1.2 Delimitación del problema 2
1.3 Justificación 4
1.4 Estado del arte 5
1.5 Objetivos de la Investigación 1
1.5.1 Objetivo general 1
1.5.2 Objetivos específicos 1
Capítulo 2. Marco teórico 1
2.3.2 Proceso Fenton 12
2.3.3 Filtración 15
Capítulo 3. Marco metodológico 18
3.1 Tipo de estudio 18
3.2 Enfoque o diseño del estudio 18
3.3 Población de estudio 20
3.4 Diseño de la muestra 20
3.5 Fuentes 21
3.6 Herramienta o instrumento de evaluación 21
Capítulo 4. Caracterización de aguas residuales con adhesivo 24
4.1 Descripción del proceso productivo 25
4.1.1 Convertido 25
4.1.2 Guillotinado 26
4.1.3 Preparación de tintas 26
4.1.4 Impresión 27
4.1.5 Preprensa 27

4.1.6 Prensas 28
4.1.7 Laminado 28
4.1.8 Troquelado 29
4.1.9 Descartonado 30
4.1.10 Formadoras y pegadoras 30
4.1.11 Formado 30
4.1.12 Pegado 31
4.1.13 Pegado semiautomático 32
4.1.14 Empaque 32
4.1.15 Almacenaje 33
4.1.16 Rebobinado 34
4.1.17 Formado de tubos 34
4.1.18 Tapas y envases 34
4.1.19 Esquineros 34
4.1.20 Corte de tubo 35
4.2 Diagrama de flujo del proceso productivo 35
4.3 Generación de aguas residuales en el proceso productivo 37
4.5.1 Caracterización hidráulica 45
4.5.2 Caracterización de carga contaminante 47
Capítulo 5. Propuestas de tratamientos 48
5.1 Procedimiento para el método Fenton 49
5.2 Procedimiento para el método de coagulación-floculación 54
Capítulo 6. Análisis de resultados 56
6.1 Análisis de eficiencia de remoción por métodos 56
6.2 Análisis de costos 59
Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones 61
7.1 Conclusiones 61
7.2 Recomendaciones 61
Bibliografía 63

Índice de figuras

Figura 1. Estructura molecular de vinil de acetato. 7
Figura 2. Estructura molecular de alcoholes polivinílicos. 7
Figura 3.Estructura molecular de plastificantes. 8
Figura 4. *Estructura molecular de carbonato*. 8
Figura 5. *Estructura molecular de caolín*. 8
Figura 6. *Representación de la estabilidad de los coloides presentes en el agua, cuando se adiciona un coagulante*. 10
Figura 7. *Representación de la estabilidad de los coloides presentes en el agua, cuando se adiciona un coagulante.* 11
Figura 8. Diagrama esquemático del proceso Fenton. 14
Figura 9. Esquema de normativa aplicable. 16
Figura 10. Proceso de convertido. 25
Figura 11. Proceso de guillotinado. 26
Figura 12. *Proceso de preparación de tintas*. 27
Figura 13. *Proceso de preprensa*. 27
Figura 14. Proceso de prensas e impresión. 28
Figura 15*. Proceso de laminado*. 29
Figura 16. Proceso de troquelado. 29
Figura 17. *Proceso de Descartonado.* 30
Figura 18. Proceso de formado. 31
Figura 19. Proceso de pegado. 31
Figura 20. Proceso de pegado semiautomático. 32
Figura 21. *Proceso de empaque.* 32
Figura 22. Proceso de almacenaje. 33
Figura 23. Proceso de fabricación de tubos, envases y esquineros. 33
Figura 24. Diagrama de flujo del proceso productivo. 36
Figura 25. Muestra de agua con adhesivo. 47
Figura 26. Paso1, procedimiento para el método Fenton. 49
Figura 27. Paso 2, procedimiento para el método Fenton. 50
Figura 28. *Paso 3, procedimiento para el método Fenton.* 50
Figura 29. Paso 4, procedimiento para el método Fenton. 51
Figura 30. *Paso 5, procedimiento para el método Fenton*. 51
Figura 31. Paso 6, procedimiento para el método Fenton. 52
Figura 32. Paso 7, procedimiento para el método Fenton. 52
Figura 33*. Paso 8, procedimiento para el método Fenton.* 53

Índice de tablas

Tabla 1. *Parámetros sobre calidad del agua.* 2
Tabla 2. *Dosis recomendadas floculación-coagulación.* 12
Tabla 3. *Parámetros recomendados de Fenton.* 14
Tabla 4. *Parámetros universales de análisis obligatorio para vertidos en alcantarillados sanitarios.* 17
Tabla 5. *Análisis de variables.* 22
Tabla 6. *Identificación de las áreas y herramientas que se utilizan en el proceso de fabricación de las cajas.* 37
Tabla 7. *Mantenimiento de equipos y herramientas con adhesivo del proceso productivo.* 40
Tabla 8. *Adhesivo según área productiva.* 44
Tabla 9. *Resultados del análisis de laboratorio del agua cruda.* 47
Tabla 10. *Reactivos y valores para el método Fenton.* 49
Tabla 11. *Reactivos y valores de floculación- coagulación.* 54
Tabla 12. Porcentaje de remoción según métodos. 57
Tabla 13. Análisis costo de químicos para método Fenton. 60

Índice de gráficos

Gráfico 1. Tendencia en las mediciones del volumen mensual..... 46
Gráfico 2. Relación entre DQO y DBO5,20. 48
Gráfico 3. Porcentaje de remoción según métodos..... 57
Gráfico 4. Comparación de reducción de DQO, según método, con respecto al límite de vertido a alcantarillado..... 58
Gráfico 5. Comparación de reducción de DBO5,20, según método, con respecto al límite de vertido según legislación. 59

Resumen

En este trabajo, se busca desarrollar una propuesta de tratamiento y disposición para el agua residual especial contaminada con adhesivo químico en la empresa Impresora Delta S.A. Para esto, se estudiaron las variables propuestas, como las características fisicoquímicas del agua contaminada con adhesivos; además, se identificó, en el sistema productivo, el motivo de contaminación del agua y se demostró un método efectivo para la reducción y el tratamiento químico de las aguas contaminadas con adhesivos.

Con base en la investigación, se evaluaron dos alternativas fisicoquímicas: Fenton y floculación-coagulación, para tratar el agua residual. La que mejor resultados obtuvo con respecto a los parámetros evaluados (DQO y $DBO_{5,20}$) fue el método Fenton, logrando una eficiencia de remoción de un 84,1 % de $DBO_{5,20}$, y un 96,15 % de DQO, esto, en comparación con los métodos de floculación-coagulación, con un 55 % de $DBO_{5,20}$ y un 78,5 % de DQO.

Tras evaluar los costos de la metodología para tratar el agua residual escogida, según resultados, preliminarmente, se considera un tratamiento con un costo menor que el tratamiento actual que recibe en la empresa. Por ello, se considera que la metodología utilizada tiene una rentabilidad positiva, con un costo de operación 82,24 % más económico.

Capítulo 1. Introducción

El tratamiento de aguas residuales es una operación básica y necesaria en la industria de procesos, ya sea para cumplir con normas ambientales o, bien, para evitar impactos negativos en los cuerpos receptores cercanos. Entonces, es conveniente conocer los fundamentos del sistema de aguas residuales y las tecnologías existentes para alcanzar las metas de tratamiento requeridas.

Impresora Delta S.A. se ha convertido en una empresa costarricense líder en la fabricación de cajas plegadizas a base de cartulina. La historia de la empresa inició en unas bodegas ubicadas cerca del puente de los Anonos en Escazú. Durante sus primeros 25 años, se enfocó en el mercado nacional, atendiendo principalmente a la industria alimentaria, pero luego se encaminó a la ruta de nuevos mercados, mediante la exportación.

Para efecto de esta investigación, se desea aplicar una opción viable, de menor costo y amigable con el ambiente, frente a la que se utiliza actualmente, de forma tal que permita degradar y mejorar la disposición final de las aguas con adhesivos que se generan en los diferentes procesos productivos de la empresa.

Para esto, se analizaron las aguas y, en función de los resultados y su naturaleza, se evaluaron diferentes alternativas de tratamiento que se compararon con los valores o parámetros que se tienen establecidos en el Reglamento de vertido y reusó de aguas residuales, número 33601, con el fin de obtener una metodología para gestionar esas aguas residuales industriales.

1.1 Tipo de Investigación

El proyecto de investigación se realizó a través de un enfoque mixto y el diseño de un estudio de caso; la variable principal por analizar es el agua residual, ya que se somete a pruebas donde hay un componente cuántico; además, la propuesta también se basa en un análisis de datos cualitativos.

La recolección de los datos se realizó en campo, por medio de muestreos del agua residual. A esta agua residual se le realizaron pruebas con los diferentes métodos seleccionados; posterior a esto, se analizó en el laboratorio y se tomó la información de los resultados de dichas pruebas.

Por otra parte, se analizó la documentación complementaria brindada por la empresa y la información bibliográfica de diferentes autores, lo cual permitió una mejor comprensión o abordaje del problema y de ello se desprenderán las conclusiones generadas con el método planteado.

1.2 Delimitación del problema

Para analizar cuáles son los procesos y las herramientas, por los cuales se contamina el agua con adhesivo, se realizó una visita a las instalaciones de la planta de Impresora Delta S.A., donde se determinó cada una de las etapas del proceso productivo en que se utiliza este adhesivo.

Por lo anterior, se presenta un cuadro donde se identifican las áreas y las distintas herramientas que se utilizan dentro del proceso de fabricación de las cajas plegadizas.

Es importante mencionar, de manera breve, que el agua residual que se genera debido al lavado de los recipientes lleva contenido de adhesivo y, por su naturaleza química, se estima con una alta carga orgánica; por lo tanto, debe llevar un tratamiento previo, para valorar la posibilidad de enviarla a la planta de tratamiento de aguas residuales ordinarias (PTAR) con que cuenta la empresa.

Actualmente se gestionan estas aguas residuales mediante un proveedor externo que las trata mediante un procesamiento de incineración. Por esta razón, se establecen como el objeto en estudio, debido a que actualmente la empresa debe transportar esas aguas y el proveedor externo les da disposición final; por tal motivo, se está expuesto a un posible riesgo de derrame que causaría un impacto ambiental, contaminando fuentes de agua superficiales y subterráneas. Sumado a ello, está la liberación de gases por la incineración de las aguas con adhesivos.

Además, este procesamiento produce un costo significativo de operación a la empresa Impresora Delta S.A., aproximadamente entre $170 y $250 por m^3, por lo cual se pretende buscar una opción viable, económica y ambiental para la reducción y el tratamiento de las aguas residuales con adhesivos.

En la actualidad, existen dos principales opciones para tratar estas aguas. Según lo indican Llano, Cardona, Ocampo & Ríos (2014), “las aguas residuales son comúnmente tratadas mediante procesos biológicos. No obstante, en el caso específico de las aguas residuales industriales químicas, los procesos fisicoquímicos son una alternativa ampliamente utilizada, viable, eficiente y económica para tratarlas” (p.74).

1.3 Justificación

El presente proyecto de investigación se realiza, ya que se identificó la necesidad de gestionar de manera más eficiente las aguas residuales con adhesivos, producto de los procesos productivos de la empresa Impresora Delta S.A. Esto permitirá a la compañía optar por un tratamiento más viable económicamente y con un menor impacto en el ambiente, mediante una metodología físico-química que permita la degradación o separación de las partículas, adhesivos y, de esta forma, bajar los niveles de contaminantes, con el fin de que se envíen a la planta de tratamiento, sin causarle inconvenientes; es decir, que el agua del adhesivo cumpla, al menos, con los valores de los parámetros para los que fue diseñada. Al alcanzar estos valores, las aguas pretratadas se pueden enviar a la planta de tratamiento de la misma empresa.

De esta manera, no será necesario enviar el agua contaminada con el adhesivo al coprocesamiento (que consiste en inyectar las aguas en hornos cementeros para quemarlas); de esta manera, se busca que el método recomendado logre un ahorro, en los costes actuales de disposición de las aguas contaminadas con adhesivos, de entre $170 y $230 por m^3; en promedio, serían $1020 mensuales.

Es importante rescatar que, aparte del ahorro económico, también se espera generar varias ventajas de carácter ambiental y de imagen pública, ya que no se necesitarán altas cantidades de energía, como las utilizadas por el transporte y en el horno cementero, para ser coprocesadas.

> Estos aspectos son tomados en cuenta en un mercado globalizado y competitivo, donde el tema del medio ambiente cada vez se vuelve el factor más importante. El tratamiento de aguas residuales en las industrias, se ha convertido en una solución viable y confiable para tratar problemas de contaminación de responsabilidad de disposición de desechos, el tratamiento de efluentes ahora puede convertirse en un recurso valioso para las industrias. Con el propósito de preservar las reservas de agua dulce, disminuir los costos de disposición del agua contaminada con adhesivo y una mejor gestión de las aguas residuales industriales y de todos los recursos (hídrico). (Vera Galarza, 2018, p. 8)

1.4 Estado del arte

El tratamiento de las aguas residuales a nivel mundial se enfoca, en su mayor parte, en metodologías biológicas y no químicas, debido a que es más usual lidiar con aguas de naturaleza biodegradable. Sin embargo, en ocasiones, se cuenta con contaminantes no biodegradables, los cuales se deben tratar con metodologías fisicoquímicas que, de manera individual o como complemento al tratamiento biológico, generan aguas con parámetros conformes para su disposición final.

A nivel internacional, se han realizado varias investigaciones sobre temas muy relacionados con el tratamiento de las aguas residuales no biodegradables y con la aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico; por ejemplo, Rubio Clemente, en 2014, en Medellín, Colombia. También, se han recopilado enciclopedias referentes a temas como el proceso

avanzado de tratamiento fisicoquímico, el cual fue elaborado en 2006, en Estados Unidos, por Antonio Rodríguez; además, en Shanghái, China, en 2017, Pignatello realizó un estudio de la degradación de PVA en aguas residuales, mediante procesos de oxidación avanzados.

En Maceio, Brazil, en el 2019, se halló un estudio de remediación de efluentes de tinta en impresión: una comparación entre los tratamientos electroquímicos y Fenton; en Polonia, en 2004, Patricia Bautista Carmona desarrolló un estudio sobre la toxicidad de las aguas residuales industriales tratadas por el reactivo Fenton.

Incluso a nivel internacional, se cuenta con varios artículos referentes, uno de ellos, al tratamiento de las aguas residuales en una refinería de petróleo por oxidación avanzada usando el reactivo de Fenton; este fue puesto al público para el 2008 en Lima, Perú. Es importante destacar que hay información, sin embargo, es muy variada para los diferentes sectores industriales.

Con respecto a investigaciones de este tipo en Costa Rica, se pueden hallar algunas desarrolladas en la Universidad de Costa Rica, referentes a determinar las condiciones operacionales para la estabilización de etinilestradiol proveniente de residuos de la industria farmacéutica mediante el uso de la tecnología foto-Fenton, el cual se realizó en 2017; luego, en 2016, desarrollaron una investigación de evaluación del desempeño de un catalizador heterogéneo compuesto por TiO_2-diatomita que integra los procesos de oxidación avanzada de Fenton, fotocatálisis y UV/H_2O_2, en la degradación de cafeína como contaminante del modelo en agua y,

en el 2014, realizaron una investigación en el Instituto Tecnológico de Costa Rica sobre la degradación y decoloración de agua contaminada con colorantes textiles, mediante procesos de oxidación avanzada.

1.5 Objetivos de la Investigación

1.5.1 Objetivo general

Desarrollo de una propuesta de tratamiento y disposición para el agua residual especial contaminada con adhesivo químico en Impresora Delta S.A.

1.5.2 Objetivos específicos

1. Analizar las características fisicoquímicas e hidráulicas del agua contaminada con adhesivos.
2. Analizar los resultados de la caracterización y proponer alternativas de tratamiento.
3. Demostrar un método efectivo para la reducción y el tratamiento químico de las aguas contaminadas con adhesivos.

Capítulo 2. Marco teórico

El agua residual es un subproducto que se genera por la producción de un bien, servicio o material, en la cual se tiene que utilizar el agua dentro de su proceso productivo y, de esta manera, se modifica con algún agente, cambiando sus características físicas, químicas y biológicas. Las aguas residuales se pueden clasificar en dos tipos, las cuales se mencionarán a continuación:

> Las aguas residuales tipo ordinaria, son todas aquellas aguas generadas por las actividades domésticas del hombre, como el uso de inodoros, duchas, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa, entre otras y las aguas residuales de tipo especial, son aquellas diferentes a las ordinarias. (Valdez & Vázquez, 2003)

Por tanto, las aguas residuales producidas en los procesos de manufactura de diferentes empresas son un tipo especial:

> El tratamiento de estas aguas es muy variable ya que no todas las empresas tienen el mismo proceso productivo, este tratamiento puede ser físico o químico mayormente dependiendo de su caracterización, esto no quiere decir que algunas aguas residuales tipo especiales puedan ser tratadas bajo metodologías para aguas ordinarias. (Valdez & Vázquez, 2003).

2.1 Parámetros de calidad del agua

Las aguas se caracterizan por ciertos parámetros que definen sus propiedades y calidad, esta caracterización se hace en virtud de sus propiedades físicas, químicas y su efecto contaminante en el ambiente o su impacto en la salud humana.

Para las actividades comerciales con aguas de tipo ordinario y especial, se deberán analizar los parámetros universales que se detallan a continuación:

Tabla 1. *Parámetros sobre calidad del agua*.

Parámetro	Definición	Porque se controla
Demanda bioquímica de oxígeno ($DBO_{5,20}$)	"Es un parámetro que se expresa en mgO_2/L, luego de dos determinaciones con un intervalo de cinco días (DBO_5) considerando que es el tiempo promedio requerido por los microbios para efectuar dicho tipo de metabolismo" (Wester Campos, 2019, p. 41).	Se controla, ya que mide la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica biodegradable presente en un agua residual; por lo tanto, mide el grado de contaminación de un agua residual, ya que cuanto mayor sea la cantidad de materia orgánica, mayor será la concentración de oxígeno que necesiten los microrganismos para su degradación.

Demanda química de oxígeno (DQO)	"Cantidad de oxígeno (mgO_2/l) necesaria para oxidar los componentes del agua recurriendo a reacciones químicas" (Quintana, 2010, p. 10).	Se controla, ya que mide la cantidad de materia orgánica e inorgánica de un agua residual; si el agua residual tiene un porcentaje de materia inorgánica muy alto, los microorganismos no podrán degradarlo por sí solos. Por ello, se deberá degradar recurriendo a reacciones químicas.
Potencial del hidrógeno (pH)	"El pH representa el logaritmo decimal negativo de la concentración de iones hidronio en el agua" (Chavarría Barrantes, 2014, p. 8).	Se controla el grado de acidez, alcalinidad o concentración de hidrogeniones. Esto puede repercutir de manera positiva o negativa en el crecimiento de los microorganismos, por lo cual se debe manejar un pH neutro en las aguas residuales.
Grasas y aceites (GyA)	"Los ésteres de ácidos grasos que se mantienen líquidos a temperatura ambiente se llaman aceites y los sólidos se llaman grasas" (Chavarría Barrantes, 2014, p. 9).	Se controla, ya que, si hay un porcentaje alto de grasas y aceites, el DQO aumenta y los microorganismos presentes no tendrán la capacidad de degradar la materia del agua residual.

Solido sedimentables (SSed)	Los sólidos en suspensión que se logran sedimentar en condiciones de calma, por influencia de la gravedad, son conocidos como solidos sedimentables; únicamente sedimenta el material grueso que posee densidad mayor a la del agua; un ejemplo son los lodos que están constituidos por acumulaciones de solidos sedimentables (Vargas Meneses, 2010, p. 31).	Se controla, ya que se busca estabilizar los lodos que se producen producto de la sedimentación, con el objetivo de reducir patógenos, eliminar malos olores y reducir o eliminar su potencial de putrefacción.
Solidos suspendidos totales (SST)	"Es un parámetro empleado en la determinación de la calidad y eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, ya que se encuentra estrechamente relacionado con la materia (orgánica e inorgánica) presente en las mismas y asociado a su turbidez" (Wester Campos, 2019, p. 42).	Se controla, ya que afectan la calidad del agua. Los sólidos suspendidos pueden transportar patógenos y, también, afectan el nivel de transparencia del agua o nivel de turbidez, por esto se controlan mediante la filtración o sedimentación de las aguas residuales.
	"Son sustancias insolubles en agua, que forman películas o capas en su superficie haciendo más viscosa la	Se controla, ya que es un indicador de la calidad del agua. Si existe la presencia de SAAM, significa que hay productos presentes en el agua

Sustancias activas al azul del metileno (SAAM)	mezcla, se deben remover en la etapa de pretratamiento. Se miden en mg/l" (Tenorio Piedra, 2013, p. 20).	residual, como los tensoactivos o detergentes.
Temperatura (T)	Esta característica está ligada a los procesos químicos y biológicos que se dan en el agua. La temperatura tiene influencia directa con el desarrollo de la vida acuática; se puede afirmar que al aumentar la temperatura se provoca un aumento en las reacciones químicas y biológicas, así como la velocidad de reacción; y una disminución en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua (Tenorio Piedra, 2013, p. 18).	Se controla, ya que la temperatura afecta directamente el proceso de degradación de la materia, por parte de los microorganismos, en las aguas residuales. Si la temperatura es mayor o menor a la del ambiente (20 °C /25 °C), esto modificará las reacciones químicas y biológicas.

Fuente: Elaboración propia con base en Campos, 2019; Quintana, 2010; Chavarría, 2014; Vargas, 2010; Tenorio, 2013. (2020).

En el caso de las aguas residuales especiales, podría ser necesario analizar también los parámetros complementarios indicados para cada tipo de actividad comercial, por ejemplo: metales pesados, color, nutrientes, etc.

2.1.1 Relación $DBO_{5,20}$/DQO

El DQO y el $DBO_{5,20}$ representan compuestos orgánicos unidos por enlaces de carbono e hidrógeno, siendo el $DBO_{5,20}$ la parte del DQO biodegradable, esto

quiere decir que es la parte que los microorganismos o bacterias pueden procesar o degradar de forma biológica. Dependiendo de la biodegradabilidad de la materia orgánica que tenga el agua, así será el tratamiento que se le brinde.

> Existe un factor llamado degradabilidad de los compuestos del agua, el cual se conoce como la relación entre $DBO_{5,20}$ y el DQO, por ejemplo; si la relación ($DBO_{5,20}$/DQO) > 0,6 esto quiere decir que son compuestos fácilmente degradables por microorganismos en el agua residual, el cual puede ser tratados mediante tratamientos biológicos. Se divide en dos, una < 0,3 que en definitiva no es recomendable el tratamiento biológico, es conveniente lo fisicoquímico, y el punto intermedio que se analiza a la luz de cada caso o que se puede usar lo biológico de forma complementaria (Vera Galarza, 2018, p. 20).

2.2 Composición química de los adhesivos

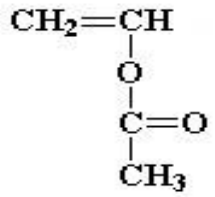
Un adhesivo o pegamento es una sustancia que se utiliza para mantener unidos dos o más cuerpos por contacto superficial. El adhesivo es una mezcla de varias sustancias, mayoritariamente compuestos orgánicos, los cuales se detallan a continuación.

2.2.1 Emulsiones de acetato de polivinilo o etil vinil acetato:

Se derivan del petróleo y se utilizan varios tipos que varían en cuanto a propiedades. Es importante recalcar que el adhesivo que se utiliza en el proceso de pegado de cajas plegadizas de la empresa Impresora Delta consta de varias

moléculas orgánicas, lo cual detallaremos a continuación: adhesión porcentaje de sólidos y resistencia a la humedad. Su biodegradabilidad puede ser retrasada por la propiedad que tiene de resistir a la humedad.

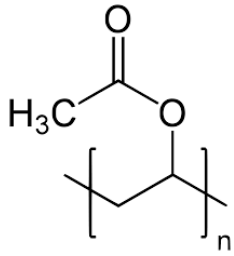
Figura 1. *Estructura molecular de vinil de acetato.*



Fuente: Cano y Fajardo Industrial S.A., 2020.

2.2.2 Alcoholes polivinílicos: También derivados del petróleo, vienen en gránulos secos y pasan por un proceso de calentado disuelto en agua para incorporarlos a los adhesivos. Se utilizan en diferentes tipos que varían en su grado de hidrólisis (resistencia al agua y elasticidad, cuanto más alto sea) y viscosidades, de modo que se escogen de acuerdo con el uso final del adhesivo terminado.

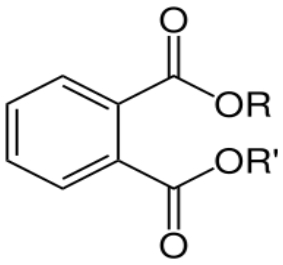
Figura 2. *Estructura molecular de alcoholes polivinílicos*.



Fuente: Cano y Fajardo Industrial S.A., 2020.

2.2.3 Plastificantes: Se usan para aumentar la elasticidad de la película final del adhesivo, de acuerdo con el uso. Algunos adhesivos, por los requerimientos de uso final, pueden no llevar este reactivo; actualmente, el que más se utiliza es el ftalato de dibutilo.

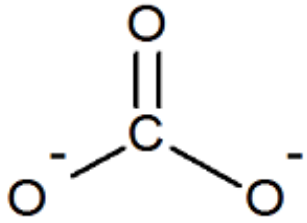
Figura 3.*Estructura molecular de plastificantes*.



Fuente: Cano y Fajardo Industrial S.A., 2020.

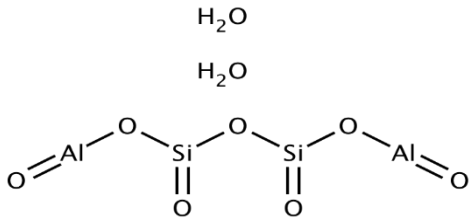
2.2.4 Cargas o rellenos: Usados como extendedores del adhesivo, según su uso y requerimientos finales. Los más utilizados son carbonato y caolín.

Figura 4. *Estructura molecular de carbonato*.



Fuente: Cano y Fajardo Industrial S.A., 2020.

Figura 5. *Estructura molecular de caolín*.



Fuente: Cano y Fajardo Industrial S.A., 2020.

2.2.5 Otras materias primas: Los adhesivos, en mucha menor proporción y no todos (necesariamente), pueden llevar antiespumantes, aditivos, preservantes de diferentes tipos, dispersantes, emulsificantes y colorantes.

Como se mencionó, son utilizados en el proceso productivo porque tienen, como mínimo, cinco reactivos básicos para su fabricación o producción, de los cuales son mayoritarios los aditivos y, por tanto, la naturaleza orgánica, polimérica y probablemente no biodegradable del contaminante hace que no se puedan tratar por métodos convencionales (de tipo biológico) e implica la necesidad de experimentación y pruebas para determinar el tratamiento más acorde del agua contaminada.

2.3 Metodologías de tratamiento de aguas residuales no biodegradables

En virtud de la naturaleza orgánica y no biodegradable de las aguas residuales que requieren el tratamiento, a continuación, se explican algunos métodos de tratamiento fisicoquímicos aplicables para estos casos.

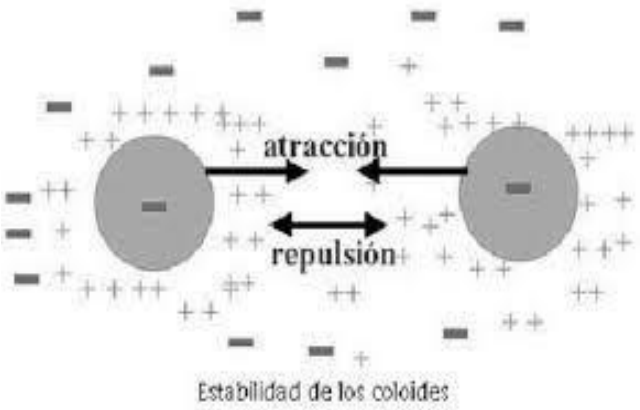
2.3.1 Coagulación- floculación

> La Coagulación-Floculación es el proceso por el cual, las partículas se aglutinan, en este caso se unen entre sí en pequeñas masas, a esto se le llama flóculos.
>
> […]
>
> La mayoría de los coloides están cargados negativamente, por lo que, en agua, son estables debido a la repulsión electrostática entre estas partículas invisibles. Esta repulsión sobrepasa las fuerzas de atracción de Van Der Waals, por lo que no se aglomeran y, por lo tanto, no precipitan. Mediante el proceso de coagulación, se neutraliza la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas, esta neutralización suele realizarse

aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes); de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua. (Lorenzo-Acosta, 2006, p. 11)

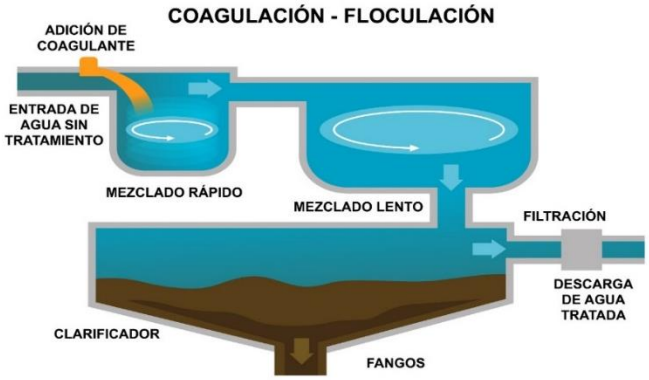
El proceso de coagulación y floculación desestabiliza las partículas, lo que provoca la colisión entre ellas, permitiendo el crecimiento de los microflóculos, apenas visibles a simple vista, hasta formar macroflóculos. Al observar el agua, ésta debería estar clara; si esto no ocurre, lo más probable es que todas las cargas de las partículas no han sido neutralizadas, por lo que la coagulación no se ha completado, en este caso será necesario añadir más reactivos. (Ramírez, 2020)

Figura 6. *Representación de la estabilidad de los coloides presentes en el agua, cuando se adiciona un coagulante*.



Fuente: Lorenzo, Y., 2006. *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación.*

Figura 7. *Representación de la estabilidad de los coloides presentes en el agua, cuando se adiciona un coagulante.*



Fuente: Ramírez, F., 2020. *Método de Floculación-Coagulación*.

Cabe mencionar que la formación de los flóculos es consecuencia de la agrupación de las partículas descargadas al ponerse en contacto unas con otras. A causa de la colisión entre las partículas, debido a que cuando se acercan lo suficiente las superficies sólidas, las fuerzas de Van Der Waals predominan sobre las fuerzas de repulsión, por la reducción de la carga eléctrica que trae como consecuencia la disminución de la repulsión eléctrica. La floculación puede ser ortocinética, que es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas y es cuando los contactos son producidos por el movimiento del fluido, o pericinética que es la promovida dentro del líquido por el movimiento que tienen las partículas en él, debido a la agitación y por la gravedad y el peso de las partículas, las que se aglomeran al caer y es cuando el contacto entre las partículas es producido por el movimiento Browniano. El coagulante aplicado da lugar a la formación del floculó o agrupación,

pero es necesario aumentar su volumen, su peso y especialmente su cohesión. Para favorecer el engrosamiento del mismo será necesaria una agitación homogénea y lenta del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas descargadas eléctricamente se encuentren con una partícula del floculó. (Lorenzo-Acosta, 2006, p. 12)

Tabla 2. *Dosis recomendadas floculación-coagulación.*

Sustancia	Tipo	Rango de Dosis mg/l	Referencia
Hidróxido de aluminio Al $(OH)_3$	Coagulante	0 mg/l -17,28mg/l	Lorenzo, A. (2006), Cuba
Policloruro de aluminio	Coagulante	1,86 mg/l - 7,36 mg/l	
Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$	Coagulante	8,23 mg/l – 14,98 mg/l	
Hidróxido de aluminio Al (OH)3	Coagulante	1,50 mg/l-1,55mg/l	Mohamed. (2014), Malasia
Policloruro de aluminio	Coagulante	250mg/l-255mg/l	Baluarte et al. (2016), Australia
Sulfato de aluminio Al2(SO4)3	Coagulante	80mg/l-92,4 mg/l	Bhatti et al. (2011), Pakistán

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Dicho proceso se usa para lograr la remoción de turbiedad orgánica o inorgánica y del color verdadero y aparente, la eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos, y precipitados químicos suspendidos, entre otros, bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles a ser separados, así como la destrucción de algas y plancton en general.

2.3.2 Proceso Fenton

La base de esta metodología es la formación, en medio ácido, de radicales hidroxilos que es la segunda especie más reactiva que se conoce, y reaccionan con una gran variedad de compuestos, entre

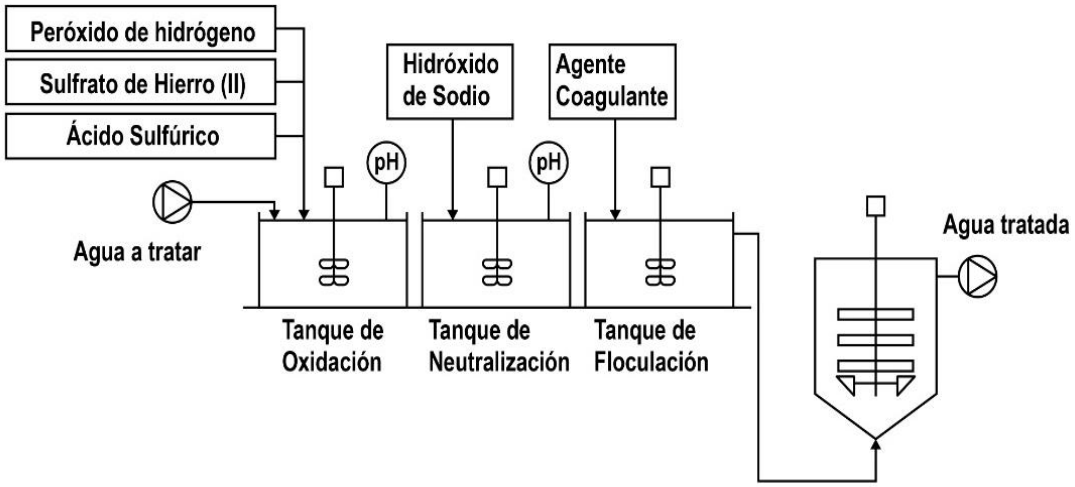
ellos los contaminantes orgánicos a los que oxida degradándolos, en caso de mineralización total como dióxido de carbono y agua. (Rubio-Clemente, Chica & Peñuela, 2014, p. 212)

El proceso de oxidación Fenton fue descrito por primera vez en 1894 por Henry J. Fenton, cuando descubrió que el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) podía activarse con iones ferrosos para oxidar ácido tartárico". (Pignatello et al., 2006). "Este proceso consiste en la adición de sales de hierro en presencia de H_2O_2, en medio ácido, para la formación de radicales °OH, ahora bien, la combinación de H_2O_2 y sales de hierro se denomina reactivo Fenton. (Ghosh et al., 2010; Neyens & Baeyens, 2003, p. 213)

Este proceso de tratamiento avanzado funciona con un radical hidroxilo (°OH) el cual puede generarse a partir de la reacción entre iones ferrosos acuosos y peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y puede destruir contaminantes orgánicos refractarios y tóxicos en las aguas residuales. (Sun, Chen & Wang, 2017, p. 3)

Su principal uso consiste en tratar aguas residuales por oxidación radical y floculación, en donde H_2O_2 es catalizado por iones ferrosos para descomponerse en HO y para desencadenar la producción de otros radicales, que pueden oxidarse completamente las materias orgánicas, ya que el radical hidroxilo (•OH) tiene una fuerte capacidad de oxidación (potencial estándar = 2.80 V versus

electrodo de hidrógeno estándar) y estos pueden oxidar eficazmente



los contaminantes orgánicos refractarios en las aguas residuales e incluso mineralizarlos por completo en CO_2, agua y sales inorgánicas. (Xu, Wu y Zhou, 2020)

Figura 8. *Diagrama esquemático del proceso Fenton*.

Fuente: Huilcarema, K., 2016. *Esquema del Proceso Fenton a Nivel Industrial*.

Tabla 3. *Parámetros recomendados de Fenton.*

Autor	H_2O_2(g/l)	Fe^{2+}/H_2O_2	pH	Tiempo de reacción
Homem, V., 2010	1,2	0,54	2,9	2 horas
Trovó, A., 2011	3,5	50	2,5	1.5 horas
Rozas, O., 2010	3.0	60	2	30 min
Feng, X., 2004	2.0	5,2	3	45 min
Barbusinski, K., 2005	5.0	0.33	3.0	1.5 horas
	5.0	0.50	3.5	
	4.0	0.33	3.5	
	5.0	0.33	3.2	

Fuente: Elaboración propia, 2020.

2.3.3 Filtración

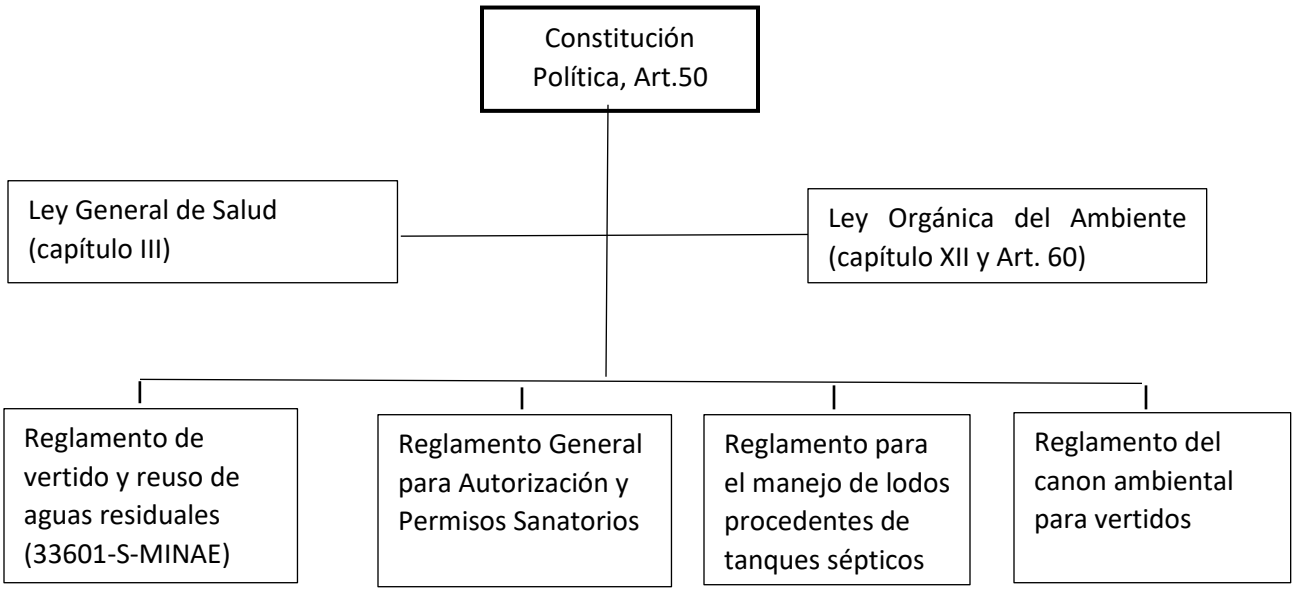
> Es el método más utilizado en el tratamiento y separación de sólidos suspendidos en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el paso del líquido. Actualmente hay una gran variedad de materiales porosos disponibles como medios filtrantes, que van desde los más sencillos hasta los más complejos.
>
> […]
>
> Es una técnica sencilla, eficaz para el tratamiento de agua potable y aguas residuales, el éxito de la técnica depende en gran medida del material adsorbente eficiente, como el carbón activado, minerales arcillosos, biomateriales, zeolitas, y algunos residuos sólidos industriales que han sido ampliamente utilizados como adsorbentes de iones y compuestos orgánicos, metales pesados y tensos activos en el tratamiento de aguas potables y aguas residuales. (Pico Díaz, 2014)

En el caso de las aguas residuales con adhesivos por tratar, los procesos de filtración que se utilizan son ultrafiltración y nanofiltración, los que son muy técnicos y costosos.

2.5 Normativa aplicable

En la siguiente figura se muestra un resumen de la legislación y reglamentación existentes en materia de aguas residuales, a nivel de país, mediante un diagrama.

Figura 9. *Esquema de normativa aplicable*.



Fuente: Chacón, J. (2012).

Como lo muestra el diagrama anterior, a nivel nacional se cuenta con la Ley 5395, Ley General de Salud, la cual indica, en el artículo 2, que el Estado, mediante el Ministerio de Salud (MINSA), vela por la salud de la población y el ambiente.

Esta ley estipula, en su artículo 285, que las aguas residuales deben ser dispuestas adecuada y sanitariamente, a fin de evitar la contaminación de agua para el uso y consumo humano (Ley 5395, 1974).

En lo que respecta a aguas residuales, la Ley General de Salud (N.º 5395) dedica el capítulo III (artículos del 285 al 292) a las obligaciones y restricciones para la evacuación sanitaria. Estos artículos enuncian disposiciones generales, donde se obliga a toda persona física o jurídica a que elimine las aguas residuales, adecuada y sanitariamente, a través de un sistema de disposición aprobado por el Ministerio de Salud; dicho sistema debe mantenerse en buenas condiciones de funcionamiento.

El Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales define, por tipo de actividad y tipo de disposición final, los parámetros de control y los limites aplicables. Cabe señalar que la calidad para alcantarillados es la de un agua ordinaria cruda, para que sea tratada en una planta de tratamiento.

Tabla 4. *Parámetros universales de análisis obligatorio para vertidos en alcantarillados sanitarios.*

Parámetro límite máximo	Límite máximo
$DBO_{5,20}$	300 mg/L
DQO	750 mg/L
Sólidos suspendidos	300 mg/L
Sólidos sedimentables	5 ml/l
Grasas/aceites	50 mg/L
Potencial hidrógeno	6 a 9
Temperatura	15°C≤T ≤ 40°C
Sustancias activas al azul de metileno	5 mg/L

Fuente: MINAE, 2007. *Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales, Decreto N.º 33601-MINAE-S.*

Capítulo 3. Marco metodológico

La investigación se realiza en el área ambiental perteneciente a la compañía Impresora Delta S.A. Cabe destacar que dicha empresa cuenta con su propio Departamento de Salud Ocupacional y Ambiente, de manera que, al efectuar el análisis de los elementos, se determinó el proceso productivo y los adhesivos que se utilizan para elaborar los productos finales.

3.1 Tipo de estudio

La investigación que se lleva a cabo es de tipo experimental, basados en el siguiente argumento:

> En un experimento, el investigador construye deliberadamente una situación a la que son expuestos varios individuos. Esta situación consiste en recibir un tratamiento, una condición o un estímulo bajo determinadas circunstancias, para después evaluar los efectos de la exposición o aplicación de dicho tratamiento o tal condición. Por decirlo de alguna manera, en un experimento se “construye” una realidad. (Sampieri, Collado, Lucio, Valenci, & Torres, 1998, p. 191)

3.2 Enfoque o diseño del estudio

La investigación se lleva a cabo bajo un enfoque mixto. Según Sánchez (2013), "en la investigación mixta el investigador combina métodos cuantitativos y cualitativos, por lo que se caracteriza su pluralismo metodológico o eclecticismo, que a menudo resulta en la investigación superior".

> Por ello, desde una perspectiva filosófica, la investigación mixta emplea el método pragmático y el sistema de la filosofía, es un método incluyente y plural. La meta de la investigación mixta no es remplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales.
>
> […]
>
> El objeto de la investigación de métodos mixtos es obtener de ambos métodos sus fortalezas y minimizar sus debilidades. Los métodos de investigación mixta son también un intento de legitimar el uso de múltiples enfoques para responder a las preguntas de investigación, en lugar de restringir o limitar las opciones de los investigadores y así contrarrestar el dogmatismo. (Sánchez, 2013)

En este caso, la parte cuantitativa de la investigación está dada por las mediciones para analizar el agua contaminada con el adhesivo derivado del proceso de producción de la empresa impresora Delta S.A., adicionando algún proceso fisicoquímico. Esto, bajo una serie de parámetros dados; luego, se procede a interpretar los datos arrojados por los diferentes ensayos para la comprobación de los diferentes tratamientos de las aguas con adhesivos.

La parte cualitativa está en la comparación e interpretación de la lectura consultada, para valorar otros casos de tratamientos y disposición de aguas que sirvan en la presente situación. Esto permitirá una mejor comprensión o abordaje

del problema; de ello se desprenderán las conclusiones generadas con el método planteado.

3.3 Población de estudio

De acuerdo con Hernández y Mendoza (2018), "la población son todos aquellos elementos o sujetos que concuerdan con ciertas características. Está determinado por el agua residual con adhesivo, producto de las diferentes etapas o proceso productivo de la empresa Impresora Delta S.A, ubicada en San Rafael, Alajuela durante el año 2020".

3.4 Diseño de la muestra

La muestra, en este caso, es cuantitativa. Se realizó un muestreo de las aguas con adhesivos que se envió al laboratorio para ser analizado. Se acude a una muestra probabilística pues, como dicen Hernández & Mendoza (2018):

> En las muestras probabilísticas todas las unidades, casos o elementos de la población tienen al inicio la misma posibilidad de ser escogidos para conformar la muestra y se obtienen definiendo las características de la población y el tamaño adecuado de la muestra, y por medio de una selección aleatoria de las unidades de muestreo. Imagínate el procedimiento de un sorteo informal en tu colonia o barrio (lotería mecánica o tómbola), donde se asignan boletos numerados a un grupo de personas. El día del sorteo, se colocan las copias o recibos de los boletos en una pecera, caja u otro recipiente y los revuelves para elegir uno, el ganador. (p.200)

En este caso, se pensó en recoger una muestra representativa del agua residual generada en una semana. De esta forma, se tomaron en cuenta los cambios que se pueden dar en los niveles de contaminación con adhesivo, producto de las variaciones en las actividades de la empresa.

3.5 Fuentes

Se han utilizado tanto fuentes primarias como secundarias, la cuales se describen a continuación:

a) Fuentes primarias: En el desarrollo de este trabajo, serán los ensayos de laboratorios realizados a las aguas con adhesivo, tanto sin tratamiento como con tratamiento.

b) Fuentes secundarias: Estas serán las revistas científicas consultadas, los artículos científicos y repositorios de información, con el fin de buscar propuestas de tratamiento.

3.6 Herramienta o instrumento de evaluación

En la presente investigación, se utilizan dos formas principales de recolección de datos que se describen a continuación:

a. Análisis de los ensayos de laboratorio: Se analizaron los ensayos realizados a las aguas con adhesivo o goma, mediante tablas y gráficos comparativos.

b. Consulta bibliográfica: se consultaron artículos y revistas científicas y repositorios referentes a tipos de tratamientos de agua residuales y adhesivos.

3.7 Definición de variables

Tabla 5. *Análisis de variables.*

Objetivo específico	Técnica de recolección de información	Variable por medir	Análisis de la información
Analizar las características fisicoquímicas e hidráulicas del agua contaminada con adhesivos.	Realizar muestreos del agua residual con adhesivo y determinar el caudal y esquema de generación.	Parámetros fisicoquímicos de calidad de las aguas con adhesivos y su caudal	Se analizan los datos arrojados de las pruebas de laboratorio, con respecto a la calidad de vertido en alcantarillado sanitario de aguas ordinarias. Se indican los parámetros que los exceden y se analiza la naturaleza de los contaminantes (adhesivo), además de estimar el caudal generado.

Analizar los resultados de la caracterización y proponer alternativas de tratamiento.	Definir las opciones para tratar estos tipos de aguas con base en las características determinadas en los análisis, mediante una investigación bibliográfica y análisis de los parámetros de las aguas por tratar.	Biodegradabilidad del agua residual y alternativas de tratamientos de las aguas con estas características.	Se analiza la caracterización de su biodegradabilidad y sus valores, con respecto a la normativa y la disponibilidad de recursos y materiales para la propuesta de alternativas de tratamiento, factibles para el caso.
Demostrar un método efectivo para la reducción y el tratamiento químico de las aguas contaminadas con adhesivos.	Realización muestreos del agua residual tratada con los diferentes métodos propuestos.	Parámetros fisicoquímicos de calidad de las aguas tratadas por los métodos propuestos.	Determinar las eficiencias para cada método evaluado y comparar los resultados de los análisis contra los parámetros de vertido de aguas ordinarias al alcantarillado sanitario.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 4. Caracterización de aguas residuales con adhesivo

Impresora Delta S.A. es una empresa litográfica fundada en 1972, la cual se ha dedicado, principalmente, a la fabricación de empaques, tales como cajas plegadizas y multiempaques.

Esta empresa, al pasar los años, cuenta con una población trabajadora de 250 colaboradores en las diferentes áreas funcionales, colocándola en una posición de liderazgo en el mercado.

En 1999, la empresa inició la producción de cajas plegadizas impresas en *offset* laminadas en cartón microcorrugado. Para el 2000, se realizaron expansiones, tanto de ampliación de la planta, como importantes inversiones en equipos nuevos de alta tecnología.

En el 2016, se adquirieron equipos para la fabricación de tubos, envases y esquineros y se estableció una división nueva. Esta división de tubos y envases realiza las actividades de rebobinado de papel, formado y cortado de tubos, desarrollo de esquineros, envases y tapas para helado.

Impresora Delta establece, documenta, implementa y mantiene un sistema de gestión documentado, el cual incluye los mecanismos para asegurar su funcionamiento y mejorar continuamente su eficacia, de acuerdo con los requisitos de la norma ISO 9001:2015, ISO 50001:2018, BRC, cadena de custodia (FSC) y alguna otra información que la empresa considere pertinente.

4.1 Descripción del proceso productivo

En la siguiente sección se detallan las etapas productivas de la empresa Impresora Delta S.A. para fabricar cajas plegadizas, donde se produce la contaminación del agua con el adhesivo.

4.1.1 Convertido

Es uno de los primeros procesos que se lleva a cabo para la manufactura del producto. En esta parte del proceso, se reciben las bobinas de cartulina en sus diferentes anchos y calibres, se procede a desenrollarlas y colocarlas en las máquinas convertidoras, para iniciar con el corte de pliegos planos para la impresión del producto. Estos, a su vez, se disponen en una plataforma con tarima para ser transportados de forma manual, con la ayuda de una gata hidráulica, al proceso de prensas. Se tiene que tener presente que se mueven bobinas con pesos entre los 1000 kg y 2200 kg.

Figura 10. *Proceso de convertido*.

Fuente: Impresora Delta S.A., 2020.

4.1.2 Guillotinado

Aquí se da el acabado final a la cartulina antes de integrarla al proceso; esta consiste en refilar o eliminar en los pliegos de cartulina las irregularidades que pueden afectar el producto en los procesos de impresión.

Los pliegos resultantes se colocan en tarimas, de forma manual, se envuelven con plástico y son transportados para el proceso de impresión.

Las máquinas poseen sistemas de activación manual doble y sensores que bloquean el funcionamiento de la maquina (guillotina), evitando el corte de los pliegos.

Figura 11. *Proceso de guillotinado*.

Fuente: Impresora Delta S.A., 2020.

4.1.3 Preparación de tintas

Proceso de mezclado de los diferentes colores básicos, el cual se realiza con la ayuda de una mezcladora eléctrica.

Figura 12. *Proceso de preparación de tintas*.

Fuente: Impresora Delta S.A., 2020.

4.1.4 Impresión

Impresión *offset* que se realiza a los pliegos de cartulina de acuerdo con especificaciones; en este proceso se utilizan cartulina, tintas y planchas (ver Figura número 15).

4.1.5 Preprensa

Se diseñan los artes y se preparan las planchas que serán utilizadas en el proceso de prensas (impresión).

Figura 13. *Proceso de preprensa*.

Fuente: Impresora Delta S.A., 2020.

4.1.6 Prensas

Una vez preparadas las tintas, se dosifican en los rodillos que suministran a las planchas los diferentes colores de impresión. Se alimenta la máquina, de forma manual, con los pliegos de cartulina y se retiran las impresiones en tarimas con la ayuda de una gata hidráulica.

Figura 14. *Proceso de prensas e impresión*.

Fuente: Impresora Delta S.A., 2020.

4.1.7 Laminado

Este paso del proceso consiste en la adherencia de la lámina de cartulina impresa contra una lámina de cartón microcorrugado, mediante rodillos que dosifican goma mezclada con agua; esto, al final del proceso, brinda fortaleza y robustez al empaque.

Figura 15. *Proceso de laminado*.

Fuente: Impresora Delta S.A., 2020.

4.1.8 Troquelado

Consiste en dar forma a la caja mediante un troquel realizado con madera y cuchillas de corte, se procede a dar forma estructural a las cajas de acuerdo con las especificaciones solicitadas. Las máquinas se encargan de ejercer presión a los pliegos impresos, uno a uno, lo que permite dar forma y figura a los diseños.

Figura 16. *Proceso de troquelado.*

Fuente: Impresora Delta S.A., 2020.

4.1.9 Descartonado

En esta área se procede a eliminar, del pliego impreso y troquelado, los sobrantes (bordes de cartulinas) que no van a ser utilizados. Los operarios, de forma manual y con la ayuda de un mazo y piqueta, golpean para desprender los sobrantes los pliegos.

Figura 17. *Proceso de Descartonado.*

Fuente: Impresora Delta S.A., 2020.

4.1.10 Formadoras y pegadoras

Cuando se han eliminado los sobrantes de cartulina en el proceso de descartonado, dependiendo del tipo de empaque por realizar, puede ser dirigido a dos tipos de proceso: formadoras o pegadoras (ver figuras 14 y 15).

4.1.11 Formado

Se da forma a la caja mediante moldes para armar y pegar de forma mecánica (se utiliza goma). Aquí, la caja queda lista para ser utilizada por el cliente.

Figura 18. *Proceso de formado*.

Fuente: Impresora Delta S.A., 2020.

4.1.12 Pegado

Se da forma final a las cajas fabricadas, se calibra la máquina de acuerdo con el tipo de producto para realizar un predoblado de la caja hacia su forma final, además de aplicar el adhesivo en las áreas destinadas para tal fin. Aquí la caja queda de forma lisa y es armada finalmente por el cliente.

Figura 19. *Proceso de pegado*.

Fuente: Impresora Delta S.A., 2020.

4.1.13 Pegado semiautomático

Se alimenta de forma manual la banda sin fin en la que se le aplica adhesivo a cada una de las cajas, mediante rodillos, para luego ser armadas por las operarias.

Figura 20. *Proceso de pegado semiautomático*.

Fuente: Impresora Delta S.A., 2020.

4.1.14 Empaque

Al final de los procesos se realizan las labores de empaque, en las que, de forma manual, se alistan las cajas o, bien, se paletizan con las cantidades de productos requeridos.

Figura 21. *Proceso de empaque.*

Fuente: Impresora Delta S.A., 2020.

4.1.15 Almacenaje

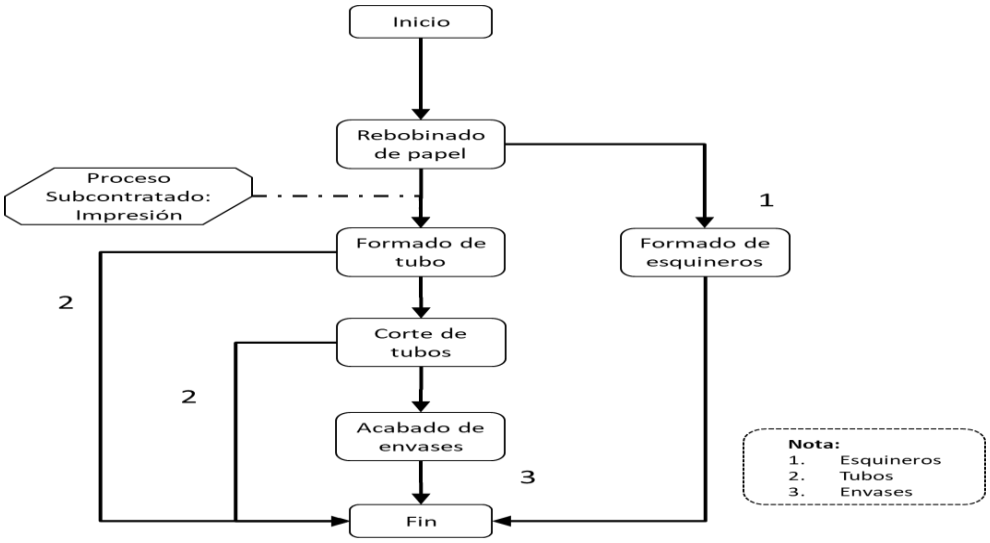
Después del empaque del producto, se procede a almacenarlo en la bodega de producto terminado, para su posterior despacho.

Figura 22. *Proceso de almacenaje*.

Fuente: Impresora Delta S.A., 2020.

Los siguientes son los diferentes tipos de productos que se fabrican en la empresa: cajas en cartulina y microlaminadas. Para el proceso de producción de tubos, envases y esquineros, se cuenta con diferentes centros de trabajo, los cuales se describen a continuación.

Figura 23. *Proceso de fabricación de tubos, envases y esquineros*.



Fuente: Impresora Delta S.A., 2020.

4.1.16 Rebobinado

Es uno de los primeros procesos que se lleva a cabo para la manufactura del producto; en esta parte, se reciben las bobinas de cartulina en sus diferentes anchos y calibres, se procede a desenrollarlas y colocarlas para volverlas a enrollar en galletas más pequeñas (tiras de papel) en las máquinas rebobinadoras, para iniciar con el formado de los productos. Se tiene que tener presente que se mueven bobinas con pesos entre los 1000 kg y 2200 kg, similares al proceso anterior.

4.1.17 Formado de tubos

Para el formado de tubos, se tienen las galletas cortadas del rebobinado, por medio de máquinas formadoras; se envuelven en una barra fija, a los pliegos se le coloca adhesivo, las bandas son enrolladas y se va formando el tubo.

4.1.18 Tapas y envases

Una vez formado el tubo, se traslada al área de tapas de envases, en la cual, con máquinas que funcionan a partir de aire, se genera presión y, con calor, se forman el envase y la tapa.

4.1.19 Esquineros

Las galletas cortadas ingresan a la máquina formadora de esquineros, la cual aplica adhesivo a los pliegos y, luego, va formando el esquinero, según ajustes que hace el operador de la máquina.

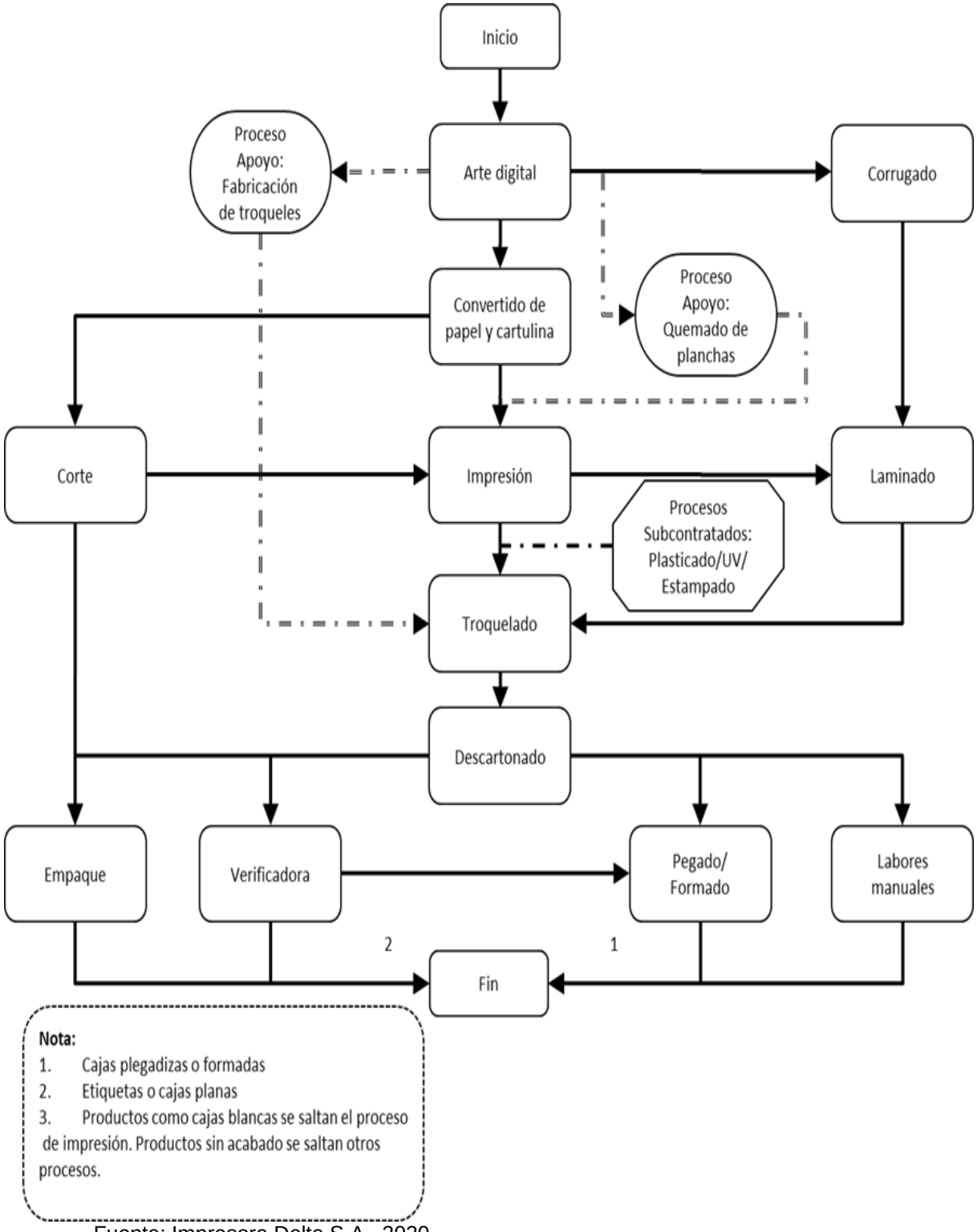
4.1.20 Corte de tubo

Máquinas con cuchillas se ajustan para cortar algunos tubos a otras dimensiones.

4.2 Diagrama de flujo del proceso productivo

El proceso de producción de cajas plegadizas cuenta con diferentes centros de trabajo, los cuales se describen a continuación.

Figura 24. *Diagrama de flujo del proceso productivo*.



Fuente: Impresora Delta S.A., 2020.

4.3 Generación de aguas residuales en el proceso productivo

Para analizar cuáles son los procesos y las herramientas, por los cuales se contamina el agua con adhesivo, se visitaron las instalaciones de la planta de Impresora Delta S.A., donde se analizó cada una de las etapas del proceso productivo en que se utiliza adhesivo.

A continuación, se presenta un cuadro donde se identifican las áreas y las distintas herramientas que se utilizan en el proceso de fabricación de las cajas plegadizas.

Tabla 6. *Identificación de las áreas y herramientas que se utilizan en el proceso de fabricación de las cajas.*

Área	Uso	Herramientas
Semiautomática	El adhesivo, en esta área, se utiliza para pegar las pestañas de las cajas laminadas, conformadas por dos partes y que, por su tamaño, no pueden ser unidas en las pegadoras.	• Bandeja con adhesivo • Rodillo Gomero • *Wypall* (paño)
Formadoras	Se utiliza el adhesivo para pegar todas las cajas que pasan por el proceso de formado, donde un molde que consta de 16 gomeros y mangueras transporta el adhesivo y los gomeros colocan un punto de adhesivo en las esquinas; el molde sufre pequeños derrames en los ajustes que luego tienen que ser lavados.	• Gomeros • Moldes • Mangueras • Espátulas • *Wypall*

Laminadora	La utilización del adhesivo en este proceso se da para unir una lámina de cartulina impresa con una lámina de microcorrugado, la cual le dará mayor resistencia a la caja por fabricar.	• Bandeja con adhesivo • Rodillos dosificadores • Bandeja dosificadora de agua • *Wypall*
Pegadoras	Se utilizan para pegar cada tipo de cajas que pasan por alguna de las cinco máquinas pegadoras: Easy Gluer, Diana, 100, Farma y Visión Fold que, dependiendo del tipo de caja y su forma, van a utilizar ya sean los discos engomadoras, los gomeros electrónicos o ambos.	• Gomeros electrónicos • Engomado de discos • Mangueras • Espátulas • Envases del adhesivo • *Wypall*
Labores manuales	Se utilizan para pegar diferentes trabajos de forma manual, con gomeros o con palitos, en este proceso entran las labores de banderitas.	• Tapas con gomas • Gomeros • Trapos con adhesivo
Formado de tubos	Se utilizan en el proceso de formado de tubos, en el cual se tienen que colocar a todos los pliegos de cartulina, para formar los tubos o los esquineros. Se pueden colocar por medio de engomadora en cascada o de gomeros fijos, este proceso utiliza una cantidad considerable de adhesivo.	• Manos sucias • Espátulas • Baldes con adhesivo • Limpieza de derrames • Herramientas sucias

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En relación con el cuadro número cuatro, se han identificado todos los procesos de las líneas de producción, donde se utiliza el adhesivo como insumo y cuáles partes o piezas son utilizadas para fabricar las cajas plegadizas, laminadas

y tubos, en los cuales se ha podido determinar su uso y herramientas que provocan el ingreso del adhesivo al agua.

No obstante, en cada etapa existen equipos o herramientas muy parecidos y, básicamente, tienen la misma función y características, ya sean para transportar y almacenar el adhesivo, para aplicar en las cajas o tubos para las distintas dimensiones y formas.

Estos equipos se utilizan a diario, por lo cual es necesario que estén en buen estado, la acumulación de adhesivo causa que se endurezcan, lo que puede provocar problemas al distribuir el adhesivo por las partes de la caja que lo requieren.

Como se mencionó en el análisis del cuadro número cuatro, las piezas de las máquinas en las distintas áreas tienen características muy similares, tanto en función como en forma.

Tabla 7. *Mantenimiento de equipos y herramientas con adhesivo del proceso productivo.*

Área	Mantenimiento de equipo y herramienta con adhesivo	Veces al día /semana	Cantidad de agua utilizada
Semiautomática	1- Se retira de la máquina el gomero, se vierte el adhesivo en la cubeta de empaque original. Con un *Wypall* húmedo, se limpia la rueda dosificadora y se lleva a la pila designada para el lavado de objetos; se abre el tubo y el operario disuelve los restos de adhesivo con agua, lava el *Wypall* y, con este, seca las piezas lavadas. 2- Lavado de trapos *Wypall:* en la máquina trabajan cuatro personas, las cuales necesitan un trapo húmedo, en este caso el *wypall,* para quitar los excesos de adhesivo y cuando está muy cargado, lo lavan en la pila designada.	1- 1 vez día. 2- 3 veces al día.	No se mide la cantidad de agua que utiliza la semiautomática para sus mantenimientos. Se cuenta con medición global al mes en conjunto con las otras áreas que realizan labores similares en la misma pila.
Formadoras	Los operarios retiran de la maquina el molde, el cual tiene, entre sus componentes, los gomeros, las mangueras y la estructura del molde; llevan a la pila de lavado y, con espátulas y agua, comienzan a retirar el adhesivo endurecido y líquido, para que	- Tres días a la semana, un molde por día. Puede variar según la producción	No se mide la cantidad de agua que utiliza la formadora para sus mantenimientos. Se cuenta con medición global en conjunto con las otras áreas

	no obstruya el sistema del molde. Son tres máquinas formadoras.	y la logística de cambio de moldes.	que realizan labores similares en la misma pila.
Laminadora	1- El mantenimiento se realiza, principalmente, en la limpieza de la bandeja de agua, la cual suministra una cantidad determinada al rodillo mojador, el que la transfiere a los pliegos; por la ubicación que ocupa la bandeja en la máquina, está expuesta a que le caiga adhesivo, pelusa de las láminas de cartón. Al contaminarse, el operario tiene que sacar por medio de un desagüé y disponer en cubetas para, posteriormente, transportarlas a las tanquetas de agua con adhesivo. 2- Se realizan mantenimientos de los rodillos dosificadores de adhesivo, lo que consiste en extraer, por medio de la misma bomba que se utiliza para inyectarla. Una vez extraída, se les añade agua a los rodillos para terminar de limpiarlos y evitar que se les haga una capa de adhesivo endurecido y no causen problemas al distribuir el adhesivo de forma uniforme. Esta cantidad de agua cae en la bandeja mencionada.	– Dos veces por semana (dependiendo de los problemas que pueda presentar la máquina, se verá alterado).	La cantidad de agua que se contamina al realizar este mantenimiento es de 95 litros, aproximadamente, por mantenimiento. Se realiza en conjunto con el mantenimiento de la bandeja; en caso contrario, el agua cae en la bandeja y, si no es muy alta la saturación del agua, se sigue trabajando hasta el mantenimiento de la bandeja.

Pegadoras	**1-** El mantenimiento en las pegadoras es muy similar para las cinco máquinas, lo que realizan los operarios es sacar las piezas de la máquina mencionada en el Cuadro # 4 y los llevan a la pila de lavado de piezas con adhesivo, la cual es limpiada con agua y espátulas o *Wypall*.	1- 3 veces por día (depende, también, de que no se presenten fallos en la colocación del adhesivo en la caja).	No se mide la cantidad de agua que utiliza las pegadoras para sus mantenimientos, se cuenta con medición global, en conjunto con las otras áreas que realizan labores similares en la misma pila.
Tubos	El mantenimiento en el área de tubos se realiza, principalmente, en el proceso, debido a que la cantidad de adhesivo que utilizan es alta. Es frecuente que se embarren las manos o que alguna pieza se contamine más de lo necesario, para esto tienen un balde con agua en diferentes partes del proceso, en el cual van lavando las herramientas, manos y los trapos y, luego, estas aguas son transportadas de forma manual a las tanquetas de 1 m^3 y los baldes los lavan nuevamente para ser utilizados.	Todos los días, una vez por día.	No se mide la cantidad de agua que se utiliza en el área de tubos para sus mantenimientos, se determina mediante una medición global, en conjunto con las otras áreas que realizan labores similares en la misma pila.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En el análisis del Cuadro 5 y su descripción de las partes del proceso y las funciones de mantenimiento que provoca el ingreso del adhesivo al agua, se puede obtener como datos importantes los siguientes:

A. Se tiene un área designada para el lavado de las piezas con adhesivo.
B. El sistema de tubería de la pila de lavado de adhesivos que lleva el agua a otras tuberías evita contaminar más cantidad de agua.
C. No se tiene contabilizada la cantidad de agua residual que se genera durante el mantenimiento de cada área, excepto la del área de laminado, esto, porque se extrae de la bandeja y se deposita en baldes, lo cual son contabilizados y llevados a la tanqueta, donde pasa a ser parte de la cantidad de agua total por mes de todas las áreas.
D. El proceso de lavado de las piezas se realiza de forma muy inconsistente, depende de cómo se comporta la producción y del tipo de trabajos que se manejen.
E. En muchos casos, según la observación abren la llave del grifo y dejan que el agua lave las piezas.

4.4 Composición química del adhesivo

La implementación de los sistemas o métodos de tratamiento de aguas y residuos es cada vez más compleja, pero podemos encontrar principios biológicos, químicos y alternos.

La investigación va dirigida a dar una solución a la problemática del agua contaminada con el adhesivo, la cual se almacena para ser tratada por un proveedor externo.

Actualmente existen varias metodologías para descontaminar aguas residuales en los procesos productivos, pero, primeramente, se debe conocer el contaminante o tipo al cual pertenecen, con el fin de determinar cuál metodología o tratamiento es el más correcto o acorde con las características fisicoquímicas del adhesivo.

Tabla 8. *Adhesivo según área productiva.*

Área	Nombre común del adhesivo	Componentes de la goma e identificación química
Semiautomática	DT-6795. Adhesivo copolímero para aletas de cajas plegadizas.	1. 5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-ona 2. 2-metil-2H-isotiazlol-3-ona 3. $C_4H_6O_2$ vinil de acetato 4. C_2H_4O x alcohol polivinílico 5. $C_{16}H_{22}O_4$ plastificante
Formadoras	DT-6004. Adhesivo para puntos de plegadizas. LT-155. Adhesivo para cajas plegadizas, aplicación boquillas. A-3838 Adhesivo para cajas plegadizas, aplicación boquillas.	1. 5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-ona 2. 2-metil-2H-isotiazlol-3-ona 3. Monómero de acetato de vinilo residual (108-05-04) 4. $C_4H_6O_2$ vinil de acetato 5. C_2H_4O x alcohol polivinílico 6. $C_{16}H_{22}O_4$ plastificante
Laminadora	Goma *track* 6835	1. 5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-ona 2. metil-2H-isotiazlol-3-ona 3. $C_4H_6O_2$ vinil de acetato 4. C_2H_4O x alcohol polivinílico 5. $C_{16}H_{22}O_4$ plastificante
Pegadoras	DT-6004. Adhesivo para puntos de plegadizas. AC-4130-B. Adhesivo para cajas plegadizas,	1. 5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-ona 2. 2-metil-2H-isotiazlol-3-ona 3. Monómero de acetato de vinilo residual (108-05-04) 4. $C_4H_6O_2$ vinil de acetato 5. C_2H_4O x alcohol polivinílico

	aplicación con rueda. AC-4130-A. Adhesivo para puntos de plegadizas.	6. $C_{16}H_{22}O_4$ plastificante
Labores Manuales	DT-6840. Adhesivo para la elaboración de centros de cartón.	1. 5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-ona 2. 2-metil-2H-isotiazlol-3-ona 3. $C_4H_6O_2$ Vinil de acetato 4. C2H4O x Alcohol polivinílico 5. C16H22O4 Plastificante
Formado de Tubos	DT-16825. Adhesivo para centros, secado rápido	1. 5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-ona 2. 2-metil-2H-isotiazlol-3-ona 3. $C_4H_6O_2$ Vinil de acetato 4. $C_{16}H_{22}O_4$ Plastificante

Fuente: Elaboración propia, 2020.

4.5. Caracterización de las aguas residuales generadas

A continuación, se llevó a cabo una caracterización del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua residual con adhesivo, para lo cual se detalló el comportamiento de la generación y los parámetros universales de calidad.

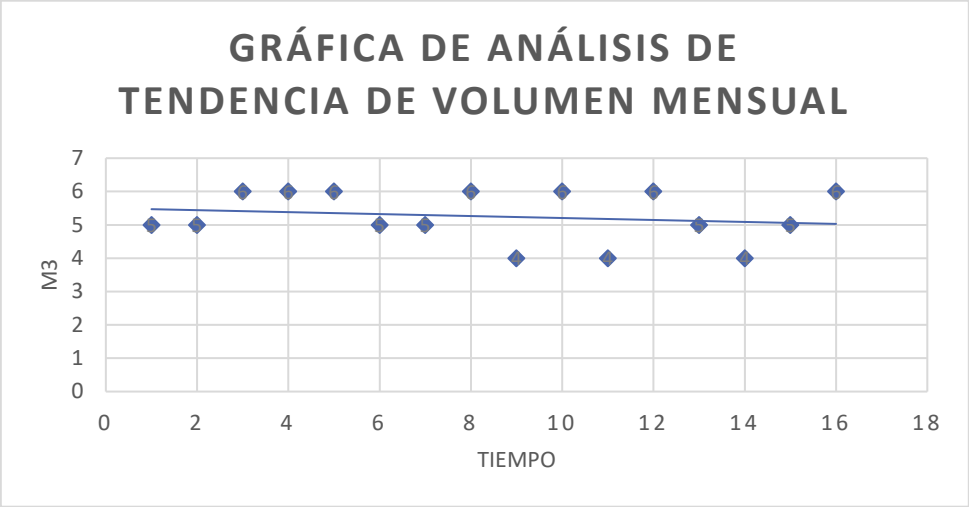
A partir de dichas caracterizaciones, se establece la necesidad de tratamiento para el proyecto y se toma en cuenta lo que dicta la legislación nacional al respecto. Por lo tanto, la caracterización del agua resulta vital en el marco del tratamiento de la residual y sus características son una necesidad intrínseca del método que se tome en cuenta.

4.5.1 Caracterización hidráulica

Los datos reportados para el volumen mensual generado varían en un intervalo de 4 a 6 m^3 y una desviación estándar de 1 m^3 aproximadamente, con un

promedio de generación de agua contaminada con adhesivos de 5.25 m^3 al mes, lo que equivale a 201,92 litros por día (5250 litros /26 días).

Gráfico 1. *Tendencia en las mediciones del volumen mensual*.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tal y como se observa en la gráfica 1, el volumen no presenta tendencia a aumentar en el tiempo, de hecho, su generación es bastante constante.

El caudal de las aguas residuales con adhesivo que se genera a diario tiene algunas características que es importante mencionar:

- No es continuo (no se genera de forma constante).
- El volumen y caudal varían durante el día y dependen de factores como montaje en las máquinas, mantenimientos de los equipos, cambios de horario; sin embargo, estos cambios no son radicales, sino bastante constantes.

Por lo tanto, los datos reportados por la Litografía para el caudal diario varían en un intervalo de 0,0 a 0,1346 l/s, con un punto máximo de caudal de 0,1346 l/s y un promedio de 0,08984 l/s.

4.5.2 Caracterización de carga contaminante

Se hizo un muestreo compuesto, del 15 al 19 de junio de 2020, de 7 a.m. a 4:30 p.m., con resultados de laboratorio número 480.558 (ver Anexo 1). Los resultados se muestran en el siguiente cuadro:

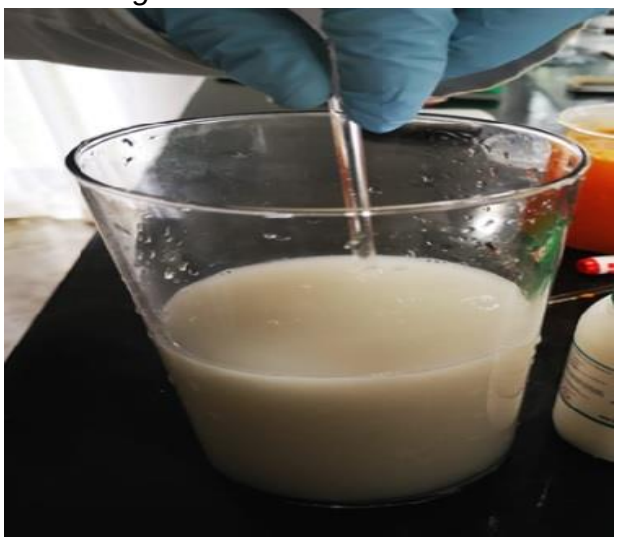
Tabla 9. *Resultados del análisis de laboratorio del agua cruda.*

Parámetros	Resultado análisis del agua con adhesivo
$DBO_{5,20}$	935 mg/L
DQO	6098 mg/L
SST	176 mg/L
GyA	54 mg/L
pH	6.61
SAAM	2 mg/L

Fuente: Laboratorio LAMBDA, 2019.

Como se puede apreciar en la Figura 25, a continuación, el agua residual tiene aspecto blancuzco, turbio, además de presentar un olor desagradable característico de la descomposición de la goma. La temperatura del agua residual ronda entre 25º C y 30º C, lo cual se considera normal o ambiente.

Figura 25. *Muestra de agua con adhesivo*.

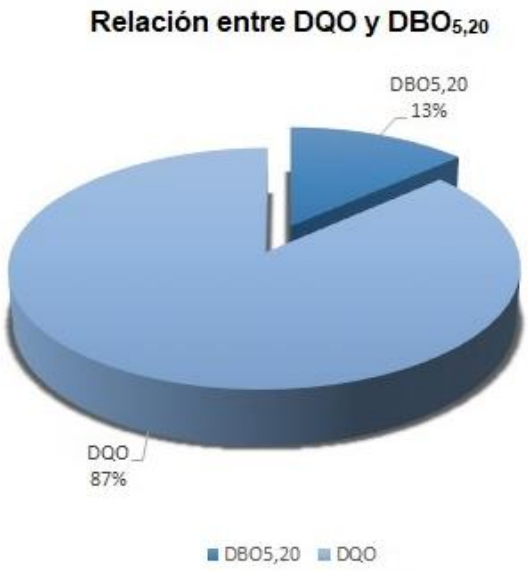


Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 5. Propuestas de tratamientos

Según el análisis realizado al agua residual (ver Anexo 1), el valor del DQO es de 6098 mg/L y el $DBO_{5,20,}$ de 935 mg/L, por lo cual no se pueden usar tratamientos biológicos, sino más bien fisicoquímicos, ya que son aguas de alta carga orgánica, pero no biodegradables, lo que se muestra en la gráfica siguiente.

Gráfico 2. *Relación entre DQO y DBO5,20.*



Fuente: Elaboración propia, 2020.

El objetivo es dar tratamiento al agua residual, para enviarla a la planta de aguas ordinarias. Para esto, se comparan los valores de la Tabla 9 con los parámetros de vertido y alcantarillado sanitario, lo que muestra que solo el DQO y $DBO_{5,20}$ están fuera de lo que permite la norma.

Por esta razón y como se mencionó, solo se evaluaron el DQO y $DBO_{5,20}$ en los diferentes tratamientos planteados. A continuación, se propondrán métodos de tratamiento, como Fenton y coagulación-floculación.

5.1 Procedimiento para el método Fenton

Para realizar las pruebas con el agua residual contaminada con el adhesivo químico, se adaptaron los valores recomendados por la tabla número 3, solamente como guía para las pruebas que se realizaron en cada caso.

A continuación, se muestran los reactivos, valores y procedimientos utilizados para la metodología empleada, en este caso Fenton (con base en lo recomendado por la literatura).

Tabla 10. *Reactivos y valores para el método Fenton.*

Parámetro	Valor
pH, adimensional	3.6
sulfato de hierro II (g/L)	5
peróxido de hidrogeno (ml/L)	10 (1%)
Tiempo, horas	2

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para la aplicación del método Fenton, se siguieron los siguientes pasos. Hay que tomar en cuenta que se aplicó a una muestra de 0,5L de agua contaminada con adhesivos.

Paso 1. Se baja el pH hasta 3,4 con ácido clorhídrico en concentración del 35%.

Figura 26. *Paso1, procedimiento para el método Fenton.*

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Paso 2. Agregar 4.6 g de sulfato de hierro II (puesto que se utilizó sulfato de hierro II heptahidratado, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$).

Figura 27. *Paso 2, procedimiento para el método Fenton*.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Paso 3. Agregar 10 ml de peróxido de hidrogeno al 50% (concentración 1% volumen).

Figura 28. *Paso 3, procedimiento para el método Fenton.*

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Paso 4. Los reactivos utilizados en los pasos anteriores se dejan reaccionar por dos horas.

Figura 29. *Paso 4, procedimiento para el método Fenton.*

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Paso 5. Agregar hidróxido de potasio para llegar a pH 7, para la muestra de 0,5 L.

Figura 30. *Paso 5, procedimiento para el método Fenton*.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

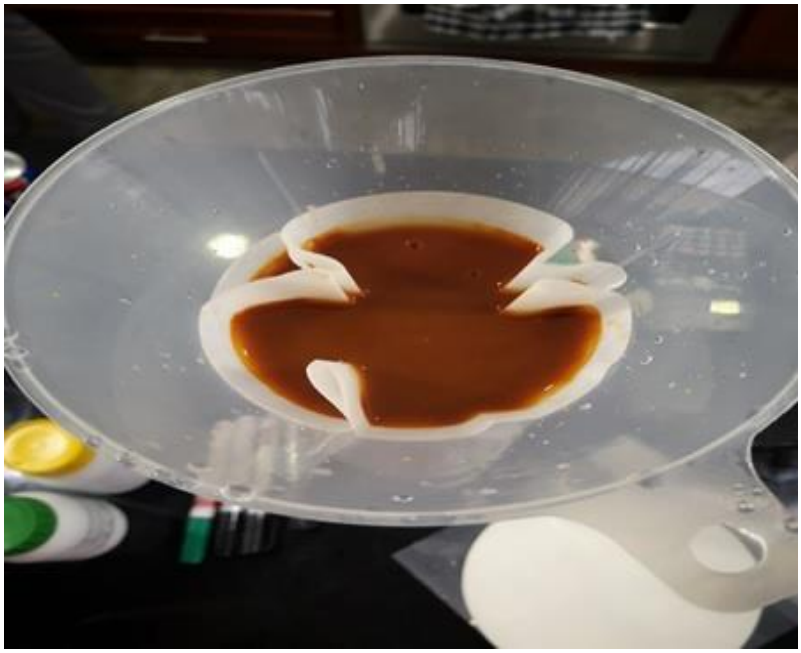
Paso 6. Se deja sedimentar.

Figura 31. *Paso 6, procedimiento para el método Fenton*.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Paso 7. Para finalizar, se procede a realizar la filtracion con un filtro de 0,45µm.

Figura 32. *Paso 7, procedimiento para el método Fenton.*



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Paso 8. Después del tratamiento y filtrado del agua, se visualiza muy clarificada.

Figura 33*. Paso 8, procedimiento para el método Fenton.*

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Paso 9. Por último, se secaron los lodos y se obtuvieron 7.9 g de sólidos por cada 0.5 L de agua por tratar.

Figura 34*. Paso 9, procedimiento para el método Fenton.*

Fuente: Elaboración propia, 2020.

5.2 Procedimiento para el método de coagulación-floculación.

Para realizar las pruebas en el agua residual contaminada con el adhesivo químico, se utilizaron los valores con base en las dosis recomendadas por diversos autores. Se muestran en la Tabla 11,

Tabla 11. *Reactivos y valores de floculación- coagulación.*

Parámetro	Tipo	Valor
policloruro de aluminio	Coagulante	5ml

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para aplicar el método floculación–coagulación, se siguieron los siguientes pasos. Hay que tomar en cuenta que se realizó para una muestra de 0,5L de agua contaminada con adhesivos.

Paso 1. Se le colocan 5ml de policloruro de aluminio en concentración de 45 %-50 %, a la muestra de 0,5 L de agua contaminada con adhesivos y se revuelve de forma constante.

Figura 35. *Paso 1, procedimiento para el proceso de floculación – coagulación*.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

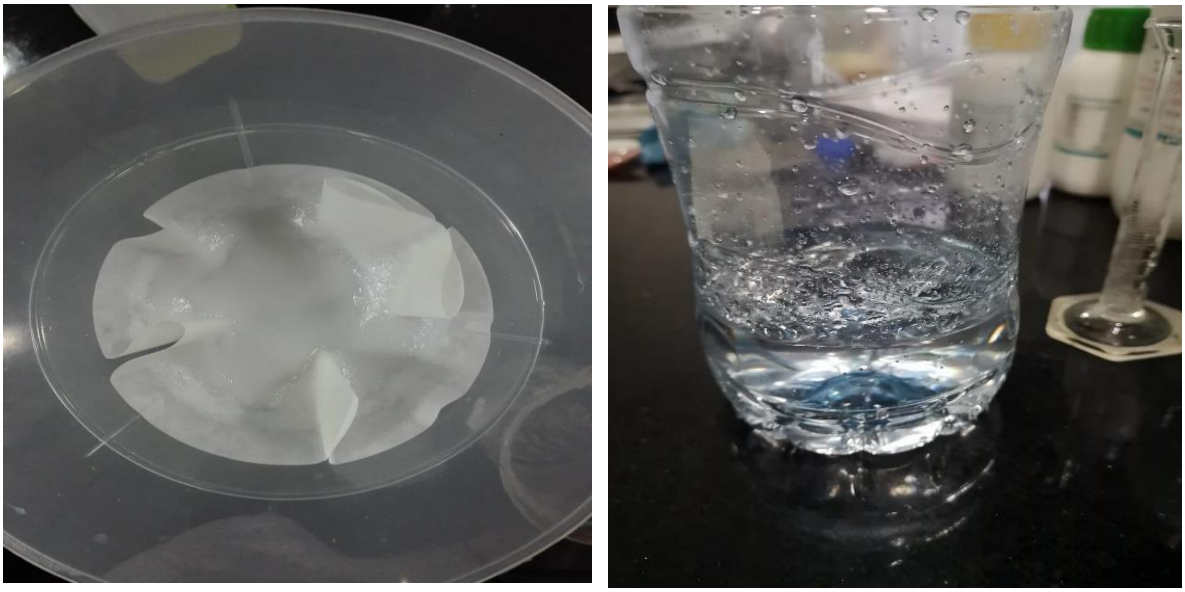
Paso 2. Se lleva el pH hasta un valor de 10.6, donde el agua comienza a formar coágulos y se sedimenta, separando el agua del lodo.

Figura 36. *Paso 2, procedimiento para el proceso de floculación – coagulación*.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Paso 3. Posterior a esto, el agua que se separó del lodo de la reacción se filtra con el floculante, para lo cual se utiliza un papel filtro de 0,45µm.

Figura 37. *Paso 3, procedimiento para el proceso de floculación – coagulación.*



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Capítulo 6. Análisis de resultados

Para evaluar las eficiencias, puesto que la muestra que se había tomado era de un periodo anterior, se tomó otra del agua con adhesivo y se dividió en tres. Se envió una nueva muestra del agua cruda (un blanco para referencia) por analizar y las otras dos fueron sujetas a la experimentación, con los métodos seleccionados: Fenton y floculación-coagulación. También, los resultados de las pruebas se contrastaron con los del agua cruda para determinar las eficiencias en cuanto a remoción.

Específicamente, se analizaron cargas de DBO5,20 y DQO, porque son los únicos parámetros fuera de la legislación relativa al vertido de alcantarillado sanitario.

También, se analizó el costo del método que presenta mayor eficiencia frente al que se usa actualmente en la empresa, para tratar estas aguas contaminadas con adhesivos.

6.1 Análisis de eficiencia de remoción por métodos

En la siguiente tabla se evalúa el resultado de los análisis de laboratorio de las aguas con adhesivo, con respecto a la remoción de los métodos aplicados (análisis de laboratorio, ver anexos 3, 4 y 5), específicamente las cargas de DBO y DQO.

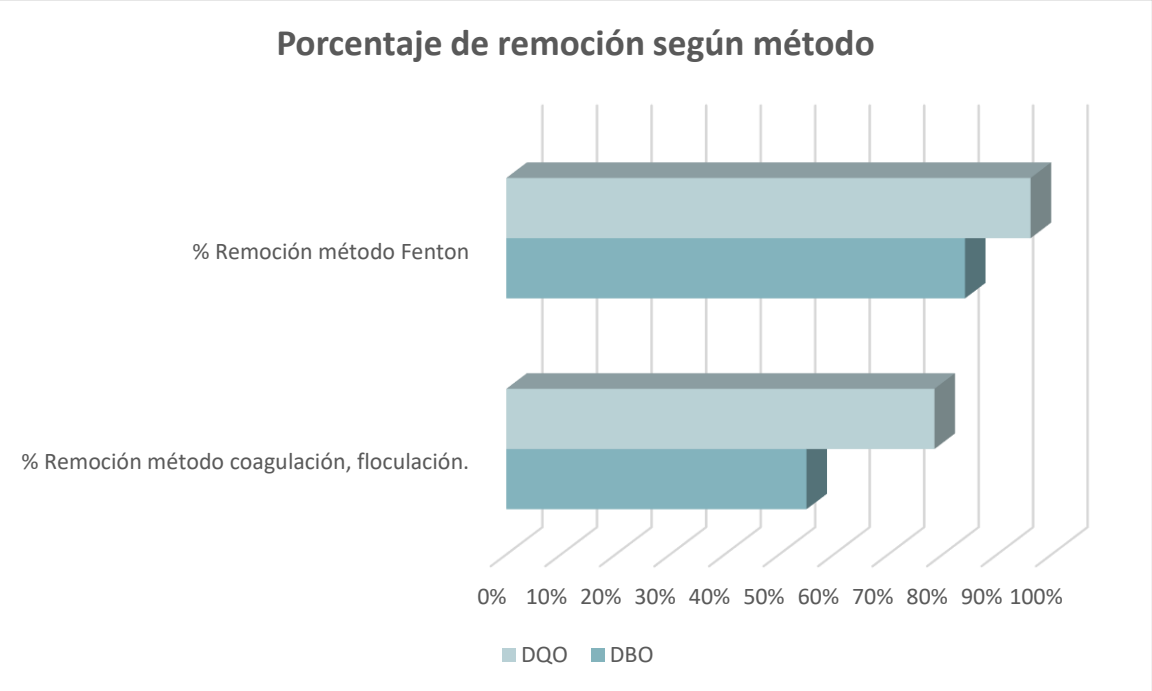
Tabla 12. *Porcentaje de remoción según métodos.*

Porcentaje de Remoción según método					
Parámetro	**Agua Cruda contaminada de adhesivo Resultado de análisis # A20/066280**	**Resultado de análisis # A20/066283, Agua con Adhesivo tratada con Floculación y Coagulación**	**% Remoción método coagulación, floculación.**	**Resultado de análisis # A20/066285, Agua con Adhesivo tratada con el método Fenton.**	**% Remoción método Fenton**
$DBO_{5,20}$	338	152	55 %	53,7	84,1%
DQO	4806	1034	78,5 %	185	96,15 %

Fuente: Elaboración propia, 2020

A continuación, se muestran, gráficamente, los porcentajes de eficiencia en cuanto a la remoción de cada método.

Gráfico 3. *Porcentaje de remoción según métodos.*



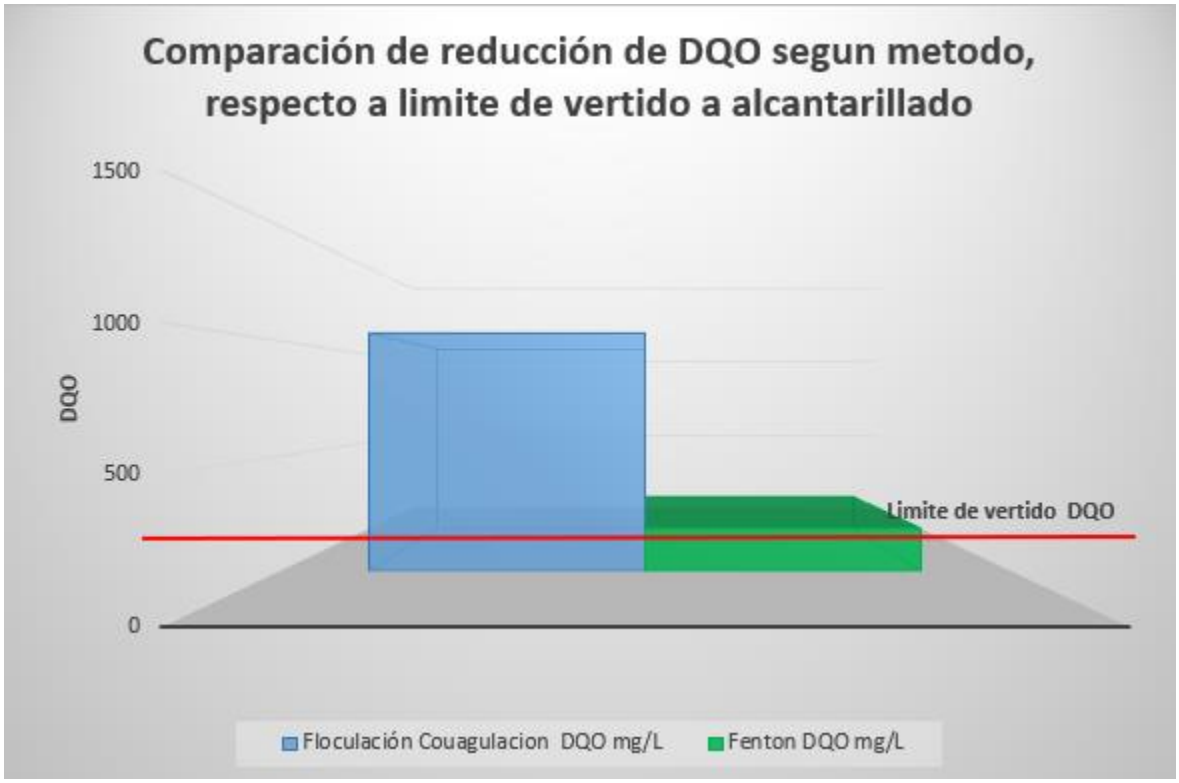
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Como se observa en la gráfica anterior, se obtuvieron resultados de remoción de carga de DQO de un 96,15 %, lo que equivale a un DQO de 185 mg/L. Además,

con respecto al $DBO_{5,20,}$ hubo una remoción de 84,1%, lo que equivale a un $DBO_{5,20}$ de 53,7 mg/L, superando los porcentajes de los otros métodos.

Por tanto, los resultados de remoción del método Fenton están dentro de los parámetros establecidos por el Reglamento de vertido de aguas residuales a alcantarillado sanitario, el cual establece, como niveles máximos, 300 mg/L de DBO_{520} y 750 mg/L de DQO, por lo que no se tendrá problema al enviar a la planta de tratamiento.

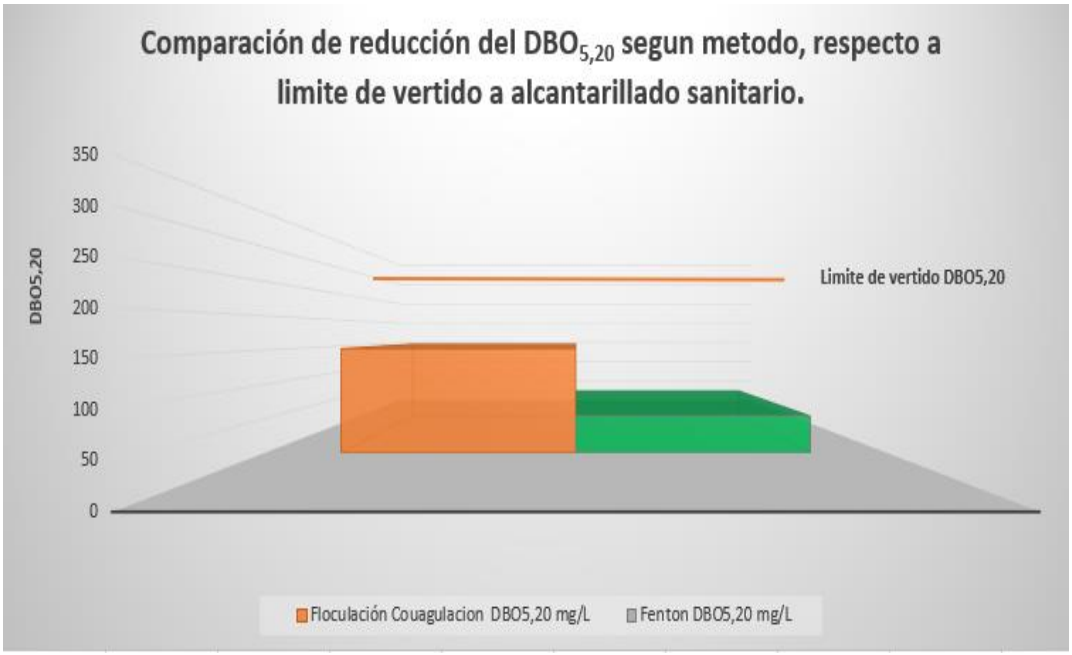
Gráfico 4. *Comparación de reducción de DQO, según método, con respecto al límite de vertido a alcantarillado.*



Fuente: Elaboración propia, 2020.

De acuerdo con la representación gráfica, el método Fenton es el único que no sobrepasa el límite de vertido y alcantarillado sanitario, por lo que genera mayor eficiencia en la remoción frente a los demás métodos.

Gráfico 5. *Comparación de reducción de DBO5,20, según método, con respecto al límite de vertido según legislación.*



Fuente: Elaboración propia, 2020.

De acuerdo con la gráfica anterior, el método Fenton tienen valores más altos de remoción de $DBO_{5,20,}$ frente al otro tratamiento, sin embargo, ambos están por debajo del límite de vertido y alcantarillado sanitario.

6.2 Análisis de costos

Se realizó un análisis de costos para comprobar la viabilidad, a nivel económico, de aplicar el método con mayor eficiencia para remover la carga de contaminante del adhesivo.

Por lo anterior, se determinó el costo de los químicos que se necesitan para tratar $1m^3$ de las aguas contaminadas con adhesivo mediante el método Fenton, lo cual se comparó con el costo que tiene actualmente la empresa al tratar la misma cantidad.

Tabla 13. *Análisis costo de químicos para método Fenton.*

Análisis costo de químicos para Método Fenton						
Productos utilizados	Costo del producto	Costo por ml o gr	Cantidad de producto químico utilizado en 500 ml	Costo para tratar 500 ml	Cantidad de producto químico que se necesita para tratar 1 m^3	Costo para tratar 1 m^3
Ácido clorhídrico concentración del 35 %.	240 L= ₡48,720Descripcion	₡0,203 por ml	0,35 ml, lo que equivale a 0,0007 por ml	₡0,07105	700 ml	₡142,1
Hidróxido de potasio KOH	25 kg = ₡19575	₡1,277 por gr	2 gr lo que equivale a 0,004 por ml	₡2,55	4000 gr	₡5108
Peróxido de hidrogeno concentración 50 %	30 kg = ₡13.572	₡0.4524 por ml	10 ml lo que equivale a 0,02 por ml	₡35	20.000 ml	₡9048
Sulfato de hierro II (heptahidratado)	25 kg = ₡7,685	₡0,3074 por gr	4,6 gramos lo que equivale a 0,0092 por ml	₡1,41	9200 gr	₡2828,08
Disposición de residuo generado a relleno sanitario	₡25.142,3 ton	0,025 por gr	-	₡0,1975	15 800 gr de lodo por ton	₡395
					Total	₡17,521

Costo de tratamiento con método Fenton por m^3	Costo neto actual del tratamiento por m^3
₡17.521	₡98.600

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Según el análisis de costo que se ha desarrollado en la tabla anterior, sobre los productos químicos, se necesita llevar a cabo el tratamiento mediante el método Fenton, debido a que el costo de los productos es aproximadamente 82,24 % más económico que el actual, para coprocesar 1m^3.

Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

Según los análisis de laboratorio, en cuanto a DQO, el método Fenton alcanzó un 96,15 % de eficiencia en la remoción del adhesivo químico en el agua, mientras que la metodología de floculación y coagulación mostró una eficiencia de 78,5 %.

Según los análisis de laboratorios realizados, el agua con adhesivo tiene una carga alta de DQO y una carga baja de DBO5,20, de modo que no puede ser tratada con un método biológico sino fisicoquímico, ya que cuenta con mucha materia inorgánica.

Con la metodología Fenton, la empresa puede enviar las aguas tratadas por este método a la planta de tratamiento, con lo que cumplirá con el objetivo de encontrar una solución.

El costo de tratar 1m3 con el método Fenton es de ₡17.126, por lo que se obtiene un ahorro aproximado de un 82,4 % en comparación con el método actual.

7.2 Recomendaciones

Se recomienda usar la metodología Fenton para tratar las aguas residuales con adhesivos, ya que es viable técnica y económicamente. El costo de las materias primas para el proceso Fenton, a gran escala, es menor que la incineración de las aguas con adhesivo.

Se recomienda realizar una segunda etapa de investigación en la línea de optimizar las dosis del método Fenton, para mejorar eficiencia y costos.

Bibliografía

American Public Health Association. (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* (19ª. ed.). Nueva York, pp. 5-12.

Barbusiński, K. (2005). Toxicity of industrial wastewater treated by Fenton's reagent. *Polish Journal of Environmental Studies, 14(1),* 11-16. Recuperado de: http://www.pjoes.com/Toxicity-of-Industrial-Wastewater-Treated-r-nby-Fenton-s-Reagent,87722,0,2.html

Boluarte.L y otros. (2016). Reuse of car wash wastewater by chemical coagulation and membrane bioreactor treatment processes. *International Biodeterioration & Biodegradation, 113*, 44-48.

Bhatti. Z y otros. (2011). Chemical oxidation of carwash industry wastewater as an effort to decrease water pollution. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 36 (9-11*), 465-469.

Chavarría Barrantes, D. (2014). *Dimensionamiento, conceptualización y propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA).* Recuperado de: http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/2018/1/36173.pdf

Cirelli, A. F., & du Mortier, C. (2005). Evaluación de la condición del agua para consumo humano en Latinoamérica. Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación del agua. *Solar Safe Water,* 11-26. Recuperado de: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31367666/01_Capitulo_01.pdf?1370799

666=&responsecontentdisposition=inline%3B+filename%3D01_Capitulo_01.pdf&Expires=1604867671&Signature=TmTOrp56sXbN4BTw2zH0GdJUI51RsOekWKEtqVz7omsZg7ZHUnVW3fNwxfRELxVYweCyIWfxAY~m0ibxClsvMOgwtODNobBcvj5N5OBIhQEoyZTcJS9qM6xWLCFx~tLcEBEZOUjCrUDFU9vn5pw0ZUjWxP7P2cMn~5PXhdlF~OsswH9uBgM6JD~dJmdZw6wXDfEXHmmZi15cnZFZzb9ieTOk7GYxAcRR18niDPTBS9lrAtW5NxYx8TNWfIIGFm8nZpMBCMSRy4RuXGfUkdMSq3EjqARianSMSfuYulC1wydbrxItUJ2SyZMDgKOtUqDsEHwnxro6xIwAwQ__&KeyPairId=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Chen, Y. J.; Fan, T. Y.; Wang, L. P.; Cheng, T. W.; Chen, S. S.; Yuan, M. H., & Cheng, S. (2020). Application of Fenton Method for the Removal of Organic Matter in Sewage Sludge at Room Temperature. *Sustainability, 12(4),* 1518. Recuperado de: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/4/1518

Chacón, J. (2012). *Diseño detallado del sistema de tratamiento de aguas residuales de un condominio residencial de 30 fincas filiales, a ubicarse en San Juan de Santa Bárbara de Heredia*. Memoria de cálculo, manual de operación y mantenimiento y planos constructivos (tesis de posgrado). San José: Universidad de Costa Rica.

Domínguez, O. J.; Serrano, E. M.; Flores, J. E., & Michel, R. L. (2011). Un nuevo método para mejorar el proceso de producción de ácido bórico. *Información tecnológica*, *22*(1), 101-108. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S07180764201100010013&script=sci_artt

Ghosh, P.; Samanta, A.N., & Ray, S. (2010). COD reduction of petrochemical industry wastewater using Fenton's oxidation. *The Canadian Journal of Chemical Engineering 88 (6),* 1021-1026. Recuperado de: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cjce.20353

Hernández, E.; Cruz, R.; Robledo, F., & Santoyo, L. (2007). Caracterización del alcohol polivinílico usado en recubrimientos de base acuosa*. Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, 38(2),* 15-25. Recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/579/57938203.pdf

Hernández, R. & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* México: McGraw Hill. Recuperado de: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64591369/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n.%20Rutas%20cuantitativa,%20cualitativa%20y%20mixta.pdf?1601783633=&responsecontentdisposition=inline%3B+filename%3DMETODOLOGIA_DE_LA_INVESTIGACION_LAS_RUTA.pdf&Expires=1615238561&Signature=HHyQeP3xptw6diKylt1B5SzBP0eCHbMAQYcipRzdtQYyquT0iF2oDtQWjmE7gdG5ANOlHNgi174aN9MOlNku~hS5ZBg1mz0rSC4xrDXu98P7fO2lTbxQR49Qpb7WDnLTH5WIJdTfI0W~CJJJg0ptNGlNn7L61~zcmOb4MuYP7jx4Ha3QYkODRucAFVxIrayfejOru8XbwIB9dr6BTjG~997X6HP69LgLObMZfNXg90~7yLK1oiY9x8ZZAHAi3U0M2t7BrUtq~mbITrvgGP7BeXWBcpGu72yHrS8uxOnPfglAUTNBnE8FPBu49KOK8GzwVhFJt7tiQqVJqA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Llano, Biviana A.; Cardona, Jhon F.; Ocampo, David, & Ríos, Luis A. (2014). Tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el proceso de

beneficio de arcillas y alternativas de uso de los lodos generados en el proceso. *Información tecnológica, 25(3),* 73-82. Recuperado de: https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010

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

López-Vázquez, C. M.; Méndez, G. B.; Carrillo, F. C., & García, H. H. (Eds.). (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño. IWA Publishing.* Recuperado de: https://www.iwapublishing.com/books/9781780409139/tratamientobiol%C3%B3gio-de-aguas-residuales-principios-modelaci%C3%B3n-y-dise%C3%B1o

Ministerio de Ambiente y Energía. (2010). *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales 2,2*. Recuperado de: http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/reglamento_vertido_reuso_aguas_residuales_0.pdf

Mohamed, R.; Saphira, R.; Kassim M. y Hashim, A. (2014). Moringa oleífera and Strychnos potatorum seeds as natural coagulant compared with synthetic common coagulants in treating car wash wastewater. Case study 1. *Ansian J Appl Scl 2:*693-700.

Pico Díaz, C. P. (2014). *Métodos de filtración para la eliminación del color de los efluentes industriales del proceso de extracción de aceite de palma* (disertación

doctoral). España: Universidad Industrial de Santander. Recuperado de: http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/39257/1/151213.pdf

Pignatello, J.J.; Oliveros, E., & MacKay, A. (2006). Advanced Oxidation Processes for Organic Contaminant Destruction Based on the Fenton Reaction and Related Chemistry. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology 36 (1),* 1-84. Recuperado de: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643380500326564

Quintana, F. D. (2010). *Análisis estadístico de los parámetros DQO, DBO_5 y SS de las aguas residuales urbanas en el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa* (disertación doctoral). España: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Recuperado de: https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/4858/3/0622200_00000_0000.pdf

Ramírez, F. (2020). *Método de floculación- coagulación*. Recuperado de: http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm

Rojas, R. (2002). Sistemas de tratamiento de aguas residuales. *Gestión integral de Tratamiento de Aguas Residuales, 1(1),* 8-15. Recuperado de: http://files.controlambiental5.webnode.com.co/2000000939097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf

Rubio-Clemente, A.; Chica, E. L., & Peñuela, G. A. (2014). Application of Fenton process for treating petrochemical wastewater. *Ingeniería y competitividad, 16(2),* 211-223. Recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/2913/291333276019.pdf

Salinas, P. (2012). *Metodología de la investigación científica*. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes. Recuperado de: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53994108/metodologia_investigacion.pdf?1501190872=&responsecontentdisposition=inline%3B+filename%3DMetodologia_investigacion.pdf&Expires=1604866911&Signature=foYHfR8gHYgXxji4ZjUN1AxsFWdzQzhgOuPTVKIp1oRX~rP2d4q5pJA~iPdrfZexJt4J6e0SQlPwVf50HKuY4aQDariNqLpqhkvF4prDFQlftg2mGm6vjWH18Ok6YrBnqHNNhtG6CgGj8u~HQDGMic3g8LAGm3HT8GBjFFjtBMQ3nKL8vPDyE3LtFOPY~0G5kMV52rXhF9v3nrylv954K~SLJItH9qkxPDbbfdh5DghoEMQL2yeKVYKGEReerQtHNPq9amN8EiDTKMp9Ny8JTWRh9a6W4KcdFOekDMASlHav5RkPZK2BN8zflu5iD0tV9j~lSElk8gF99CnOSlPrzw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Sampieri, R. H.; Collado, C. F; Lucio, P. B.; Valencia, S. M., & Torres, C. P. M. (1998). *Metodología de la investigación* (Vol. 1, pp. 233-426). México, DF: McGraw-Hill. Recuperado de: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60128572/sampieri-et-al-metodologia-de-la-investigacion4taedicionsampieri2006_ocr20190726128374ja0aah.pdf?1564203550=&responsecontentdisposition=inline%3B+filename%3DMetodologia_de_la_investigaci6n_Curta_e.pdf&Expires=1615230179&Signature=GKGbkKEOdcQXmOORYrzD~G9LiBTLdFkk7M0LSxRM5pJrDrCzFEBjbuI9680MRCJbIOOjaeDK23PKFJ0rz~XlUqoQYlIa3KdugwTI2rKjfUG3o40mim60hsVwoXeZDcuNHcyiYGAheZrBzFBrmE8IBpj0ItA3rLuSYKGtLNJacLhRLNQEBJEALOn0W

AVCWGbL4gI9zMjW0WTV486kcgWPm0QlxMMkqRx8vZjN3a5mIYbVBacMm7zO2s~vsKQIgC2ReSuDTT1hXdN1amE7heZnKAiKT4cLBWyilBYUjuSAZjrTbQro6jBZYJRT3tEtOMQxRm795tDTwBPsVQ__&KeyPairId=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Sánchez Valtierra, J. (2013). *Práctica docente. Métodos de investigación mixto: un paradigma de investigación cuyo tiempo ha llegado*. Recuperado de: http://www.blogger.com/profile/13155690421517949845

Sun, W.; Chen, L., & Wang, J. (2017). Degradation of PVA (polyvinyl alcohol) in wastewater by advanced oxidation processes. *Journal of Advanced Oxidation Technologies, 20(2).* Recuperado de: https://www.degruyter.com/view/journals/jaots/20/2/article-20170018.xml

Tenorio Piedra, R. (2013). *Diseño preliminar del sistema de tratamiento de aguas residuales tipo especial de Finca 1 de la Universidad de Costa Rica, sede Rodrigo Facio.* Recuperado de: http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3114/1/35005.pdf

United States Environmental Protection Agency. (1983). *Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes.* Cincinnati.

Valdez, E. & Vázquez, A. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales.* Fundación ICA, México D.F. Recuperado de: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58556222/Ingenieria_de_los_sistemas_de_tratamiento_y_disposicion_de_aguas_residuales_CivilGeeks.pdf?155176

6973=&responsecontentdisposition=inline%3B+filename%3DIngenieria_de_los_sistemas_de_tratamient.pdf&Expires=1604867105&Signature=YrGBEQIyfvYV7g7QPhWQW68q6rTVbQwQEnOznGpWVUQUa2pbZ3bsAJEsqx4Svk7aQ81n22ZAuSkeDlUPQmEkM3vNbuqFnAPW0P~q6ZmfL2fGysiE1Clm05aGuxJvOdXZgnx~ylxC8xx4rxQOEXaTdtUDpl8KAVtTFFl4zpmDVXHUF~8r8Kp0hzLhCkvfoHygti3cHlpwhIBhq2yO7c0V42MCTyfbYDrD4LqjcEoq78bdXtHvQ0TSZ50R41jO3gZzCpVFr8kmRiIc5VN2gUgke5KIzIw2gGMOQZqSFKSfsbEYZCycl4cP92pYfRv1pWG8RmxrIMhjKHbHc0w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Vargas Meneses, C. (2010). *Análisis de bacterias comunes en plantas de tratamientos de diferentes efluentes que son indicadores de alta eficiencia en remoción de contaminantes.* Recuperado de: http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3225/1/31602.pdf

Vera Galarza, K. A. (2018). *Diseño de un sistema para tratamiento de aguas residuales industriales, para el proceso de elaboración de adhesivo de almidón (goma) en la industria "Cartones Nacionales Cartopel SAI".* (tesis). Quevedo, Ecuador. Recuperado de: http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2912/1/T-UTEQ-0044.pdf

Wester Campos, J. M. (2019). *Efecto del pH tiempo de retención y tipo de biorreactor sobre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales, Huancayo, 2018.* Recuperado de:

http://173.244.209.199/bitstream/handle/UPLA/971/T037_18069286_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Xu, M.C & Zhou, Y. (2020). *Avances en el proceso de Fenton para el tratamiento de aguas residuales.* Recuperado de: https://www.intechopen.com/books/advanced-oxidation-processes-applications-trends-and-prospects/advancements-in-the-fenton-process-for-wastewater-treatment

Anexos

Anexo 1. *Análisis de agua cruda preliminar*.

no valorado

LABORATORIO QUIMICO LAMBDA

Tels.: 2286-1168 / 2226-4462 • Fax: (506) 2226-4462 • Apartado: 877-1011 San José, Costa Rica

e-mail: lambda@racsa.co.cr • www.laboratoriolambda.com

RESULTADO DE ANALISIS # **480,558**

ECA Laboratorio de Ensayo Alcance de Acreditación Nº. LE-002 Acreditado a partir de 16-04-1997 Alcance disponible en www.eca.or.cr

---RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO---

FECHA: 29 DE JULIO DE 2019 **SOLICITANTE:** IMPRESORA DELTA S.A.

ATENCION: SR. JULIO CASTILLO FUENTES

REFERENCIA: MUESTRA DE AGUA CONTAMINADA CON ADHESIVO ENTREGADA POR EL SEÑOR ALBERTO MENDOZA FUNCIONARIO DEL SOLICITANTE, A PERSONAL DEL LABORATORIO LAMBDA, EL DIA 17 DE JULIO DE 2019, EN SUS INSTALACIONES UBICADAS EN SAN RAFAEL, ALAJUELA, DE LA SEDE DE LA CRUZ ROJA, 600 m AL SUR, ENTRE LAS 9:45 am A LAS 11:45 am.

ANALISIS SOLICITADO:	RESULTADO PROMEDIO	PROCEDIMIENTO	REFERENCIA
pH*/ ± 0,04	**6,61**	**LAMBDA PT- 08**	**4500-H B**
SOLIDOS TOTALES*/ mg/L	**2 796 ± 83**	**LAMBDA PT- 03**	**2540 B**
SOLIDOS DISUELTOS**/ mg/L	2 620 ± 78	LAMBDA PT- 04	2540 C
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES*/ mg/L	**176 ± 6**	**LAMBDA PT- 06**	**2540 D**
SOLIDOS SEDIMENTABLES*/ ml/L	**0,2 ± 0,1**	**LAMBDA PT- 05**	**2540 F**
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)*/ mg/L	**6 098 ± 182**	**LAMBDA PT- 02**	**5220**
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO_5)*/ mg/L	**935 ± 46**	**LAMBDA PT- 01**	**5210 B**
GRASAS Y ACEITES*/ mg/L	**54 ± 2**	**LAMBDA PT- 16**	**5520 B**
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (SAAM)*/ mg/L	**2,0 ± 0,1**	**LAMBDA PT- 19**	**5540 C**

OBSERVACIONES:

- **** ENSAYO NO ACREDITADO** *** ENSAYO ACREDITADO**
- VER ALCANCE DE ACREDITACION DEL LABORATORIO LAMBDA EN LA DIRECCION ELECTRONICA: www.eca.or.cr.
- PROCEDIMIENTOS UNICAMENTE DE REFERENCIA: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 23rd 2017.
- MUESTRA CÓDIGO LAMBDA: 4507-U02.

ALBERTO A. COTO GRIJALBA
N.I. CQCR 986

COLEGIO DE QUIMICOS COSTA RICA Bachiller Química Alberto A. Coto Grijalba N.I. 986

NOTA: Refiérase al código lambda para cualquier consulta.

Nº DE PERMISO SANITARIO DE FUNCIONAMIENTO: CS-ARSSEM-891-2018
RIGE: 4-07-2018; VENCE: 4-07-2023.

LAMBDA R-04

Anexo 2. *Análisis de evolución de DBO*.

LABORATORIO QUIMICO LAMBDA
Tels.: 2286-1168 / 2226-4462 • Fax: (506) 2226-4462 • Apartado: 877-1011 San José, Costa Rica
e-mail: lambda@racsa.co.cr • www.laboratoriolambda.com

no valorado

RESULTADO DE ANALISIS # **481,176**

Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación Nº. LE-002
Acreditado a partir de: 16.04.1997
Alcance disponible en www.eca.or.cr

---RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO---

FECHA: 29 DE JULIO DE 2019 **SOLICITANTE:** IMPRESORA DELTA S.A.

ATENCION: SR. JULIO CASTILLO FUENTES

REFERENCIA: MUESTRA DE AGUA CONTAMINADA CON ADHESIVO ENTREGADA POR EL SEÑOR ALBERTO MENDOZA FUNCIONARIO DEL SOLICITANTE, A PERSONAL DEL LABORATORIO LAMBDA, EL DIA 17 DE JULIO DE 2019, EN SUS INSTALACIONES UBICADAS EN SAN RAFAEL, ALAJUELA, DE LA SEDE DE LA CRUZ ROJA, 600 m AL SUR, ENTRE LAS 9:45 am A LAS 11:45 am.

ANALISIS SOLICITADO:	RESULTADO PROMEDIO	PROCEDIMIENTO	REFERENCIA
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO) (DIA 1)**/ mg/L	393 ± 20	LAMBDA PT- 01	5210 B
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO) (DIA 2)**/ mg/L	711 ± 35	LAMBDA PT- 01	5210 B
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO) (DIA 3)**/ mg/L	888 ± 45	LAMBDA PT- 01	5210 B
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO) (DIA 4)**/ mg/L	907 ± 46	LAMBDA PT- 01	5210 B
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO_5)*/ mg/L	935 ± 46	LAMBDA PT- 01	5210 B

OBSERVACIONES:

- ** ENSAYO NO ACREDITADO * ENSAYO ACREDITADO
- VER ALCANCE DE ACREDITACION DEL LABORATORIO LAMBDA EN LA DIRECCION ELECTRONICA: www.eca.or.cr.
- PROCEDIMIENTOS UNICAMENTE DE REFERENCIA: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 23rd 2017.
- MUESTRA CÓDIGO LAMBDA: 4507-U02.

ALBERTO A. COTO GRIJALBA
N.I. CQCR 986

Bachiller Química
Alberto A. Coto Grijalba
N.I. 986

NOTA: Refiérase al código lambda para cualquier consulta.

Anexo 3. *Análisis de agua cruda inicial*.

LAMBDA
Grupo AGQ Labs

INFORME DE ENSAYO

Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación Nº: LE-002
Acreditado a partir de: 16.04.1997
Alcance disponible en www.eca.or.cr

Nº de Referencia:	A-20/066280	Registrada en:	AGQ Lambda	Cliente(*):	IMPRESORA DELTA S.A.
Análisis:	149506A-1	Centro Análisis:	AGQ Lambda	Domicilio (*):	ALAJUELA ALAJUELA SAN RAFAELDE LA CRUZ ROJA 600 M SUR
Tipo Muestra:	AGUA RESIDUAL	Fecha Recepción:	03/07/2020	Contrato:	LA20-1182
Fecha Inicio:	06/07/2020	Fecha Fin:	13/07/2020	Cliente 3º(*):	----
Descripción(*):	M0 Agua contaminada de goma				

Fecha/Hora Muestreo:	03/07/2020	Muestreado por:	Cliente (*)

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	CMA	PNT	Rango
Parámetros Físico-Químicos						
DBO 5,20	338	mg/L O2	±14,2		PT-01 SM 5210 B Ed 23	4,0 - 55.000 mg/L O2
DQO	4.806	mg/L	±533		PT-02 SM 5220 D Ed 23	5,0 - 100.000 mg/L

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma de muestras y a otros datos descriptivos, marcados con (*). A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC).

Los parámetros marcados con asterisco (*) no estan incluidos en el Alcance de Acreditación.

Anexo 4. *Análisis de agua-método floculación y coagulación*.

LAMBDA
Grupo AGQ Labs

INFORME DE ENSAYO

Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación Nº: LE-002
Acreditado a partir de: 16.04.1997
Alcance disponible en www.eca.or.cr

Nº de Referencia:	A-20/066283	Registrada en:	AGQ Lambda	Cliente(*):	IMPRESORA DELTA S.A.
Análisis:	149506A-1	Centro Análisis:	AGQ Lambda	Domicilio (*):	ALAJUELA ALAJUELA SAN RAFAELDE LA CRUZ ROJA 600 M SUR
Tipo Muestra:	AGUA RESIDUAL	Fecha Recepción:	03/07/2020	Contrato:	LA20-1182
Fecha Inicio:	06/07/2020	Fecha Fin:	13/07/2020	Cliente 3º(*):	----
Descripción(*):	M2 Agua con goma tratada con floculacion				

Fecha/Hora Muestreo:	03/07/2020	Muestreado por:	Cliente (*)

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	CMA	PNT	Rango
Parámetros Físico-Químicos						
DBO 5,20	152	mg/L O2	±6,4		PT-01 SM 5210 B Ed 23	4,0 - 55.000 mg/L O2
DQO	1.034	mg/L	±115		PT-02 SM 5220 D Ed 23	5,0 - 100.000 mg/L

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma de muestras y a otros datos descriptivos, marcados con (*). A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC).

Los parámetros marcados con asterisco (*) no estan incluidos en el Alcance de Acreditación.

Anexo 5. *Análisis de agua-método Fenton*.

LAMBDA
Grupo AGQ Labs

INFORME DE ENSAYO

Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación Nº: LE-002
Acreditado a partir de: 16.04.1997
Alcance disponible en www.eca.or.cr

Nº de Referencia:	A-20/066285	Registrada en:	AGQ Lambda	Cliente(*):	IMPRESORA DELTA S.A.
Análisis:	149506A-1	Centro Análisis:	AGQ Lambda	Domicilio (*):	ALAJUELA ALAJUELA SAN RAFAELDE LA CRUZ ROJA 600 M SUR
Tipo Muestra:	AGUA RESIDUAL	Fecha Recepción:	03/07/2020	Contrato:	LA20-1182
Fecha Inicio:	06/07/2020	Fecha Fin:	13/07/2020	Cliente 3º(*):	----
Descripción(*):	M3 Agua con goma tratada con metodo fenton oxidacion avanzada				

Fecha/Hora Muestreo:	03/07/2020	Muestreado por:	Cliente (*)

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert	CMA	PNT	Rango
Parámetros Físico-Químicos						
DBO 5,20	53,7	mg/L O2	±2,3		PT-01 SM 5210 B Ed 23	4,0 - 55.000 mg/L O2
DQO	185	mg/L	±20,5		PT-02 SM 5220 D Ed 23	5,0 - 100.000 mg/L

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma de muestras y a otros datos descriptivos, marcados con (*). A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC).

Los parámetros marcados con asterisco (*) no estan incluidos en el Alcance de Acreditación.

Anexo 6. *Cotización productos químicos*.

IMPORTADORA QUIMICA DEL NORTE S.A

IMPORTADORA QUIMICA DEL NORTE S.A
CED.JUR: 3-101-082841
CARTAGO, EL ALTO DE OCHOMOGO, 50 SUR, 25 ESTE Y 100 SUR DEL SERVICENTRO CRISTO REY
TELS: 2278-3280 , **FAX:** 2278-3290 **Aptdo:** 562-1150 LA
Email: ventas@iqn.cr

PROFORMA
No.° 43163
CREDITO
Fecha: 11/8/2020
Plazo Crédito: 45 **Días**

CodCli: 1004-0576
NomCli: IMPRESORA DELTA S.A.
Agente: HENRY VARGAS GONZALEZ
TEL.: / 2436-8600 Fax: 2436-8600
Email: julio@deltacr.com
Contacto: JULIO CASTILLO FUENTES
Direccion: 600 METROS SUR DE LA CRUZ ROJA SAN RAFAEL DE ALAJUELA

CODIGO	CANTIDAD UNIDAD	DESCRIPCION	PRESENTACION	D.1 P. UNITARIO	TOTAL
2-000-264	25.00 KILOS	SULFATO DE HIERRO 25 KG	SACO	0.53000	13.25000
2-000-182	25.00 KILOS	HIDROXIDO DE POTASIO 25 KG	SACO	1.35000	33.75000
1-000-221	30.00 KILOS	PEROXIDO DE HIDROGENO 50% 30 KG	PICHINGA	0.78000	23.40000
1-000-030	240.00 KILOS	ACIDO CLORHIDRICO PRECURSOR 240 KG	TAMBOR	0.35000	84.00000

Observaciones

OFERTA VALIDA POR 1 DIA.

PRODUCTO Y PRECIO SUJETO A ROTACION DE INVENTARIO.

PARA PODER FACTURAR EL ACIDO CLORHIDRICO ES NECESARIO PRESENTAR LA LICENCIA DE PRECURSORES EMITIDA POR EL ICD (INSTITUTO COSTARRICENSE DE DROGAS).

PRODUCTO SERA ENTREGADO EN NUESTRAS INSTALACIONES UBICADAS EN EL ALTO DE OCHOMOGO.

- Precios sujetos a las rotación de inventarios.
- Nuestros precios son en dólarés y se factura en colones al tipo de cambio de venta del día de la facturación según el Banco Central de Costa Rica.
- Los costos de envío varían según las rutas de reparto.
- Entregas al día siguiente hábil de recibida la orden de compra, en horario de entrega de 9:00 AM y 06:00 PM.
- Nuestras unidades de transporte son propias y cuenta con todos los permisos de ley, su pedido viaja bajo nuestra cuenta y riesgo, con una póliza de $500.000.00 que cubre por daños a terceros.
- En el caso de envíos de materias primas por medio de terceros: Servicios de Carga, Servicios de Encomienda, Servicios de Fletes, Buses u otros nue empresa no se hace responsable por la manipulación, pérdida, faltantes o deterioro del pedido.
- Costos o cobros adicionales de terceros corren por cuenta y riesgo del cliente.

SUB-TOTAL	$	**154.40**
DESC:	$	**0.00**
I.V.A.:	$	**20.07**
TOTAL:	$	**174.47**

Hecha por

Autorizado por

CIENTO SETENTA Y CUATRO DOLARES CON 47/100

Pag: 1de 1

Anexo 7. *Cotización disposición de lodos en relleno*.

EMPRESAS BERTHIER EBI DE COSTA RICA S.A.
Cédula Jurídica No. 3-101-215741
Tel/Fax: 2290-7464 / 2290-7301 / 2290-6014
Parque de Tecnología Ambiental Uruka del Parque Nacional de Diversiones 2.5 km al oeste
La Uruca, San José · Apdo.: 295-1150
notificaciones@ebicr.com

Contado X Crédito

No. 1-72426
BOLETA DE CONTROL

Parque de Tratamiento Ambiental: CARPIO

Fecha: 10/12/2020
Hora: E: 09:34:57 – S: 11:09:02
Nombre Cliente: INVERSIONES LUNA LLENA Y K S.A.
Peso lleno: 10970
Chofer: CARLOS VARGAS SIBAJA
Peso vacío: 6300
Placa: 141843
Neto: 4670
Número de Contenedor: CONTENEDOR GENERAL
Tipo de desecho: DOMESTICO
TM: 4.67
No. de Camión: Camión General
Detalle Otros Servicios:
Otros Servicios: ₡ 0,00
Total a Facturar: ₡ ₡13,507.98 117.415,48
CIENTO DIECISIETE MIL CUATROCIENTOS QUINCE CON 48/100
Servicio tratamiento de Basura:
Firma Chofer: Carlos Vargas S
Firma Pesador:

ebi 10 DIC 2020 CANCELADO

Anexo 8. *Carta de autorización para uso y manejo de TFG, trabajo individual.*

Universidad Técnica Nacional

Anexo III
CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACIÓN
UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL
(Trabajo Individual)

Alajuela, 28/04/2021.

Señores
Vicerrectoría de Investigación
Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores:

Yo, María Fernanda Bolaños Barrantes, Héctor Iván Brenes Sánchez, Julio César Castillo Fuentes.
portador (a) de la cédula de identidad número 207350589/604030084/20661-80456.
En mi calidad de autor (a) del trabajo de graduacion titulado:

Desarrollo de una propuesta de tratamiento y dispositivos para el agua residual especial contaminada con adhesivo químico en Impresora Delta S.A.

El cual se presenta bajo la modalidad de:

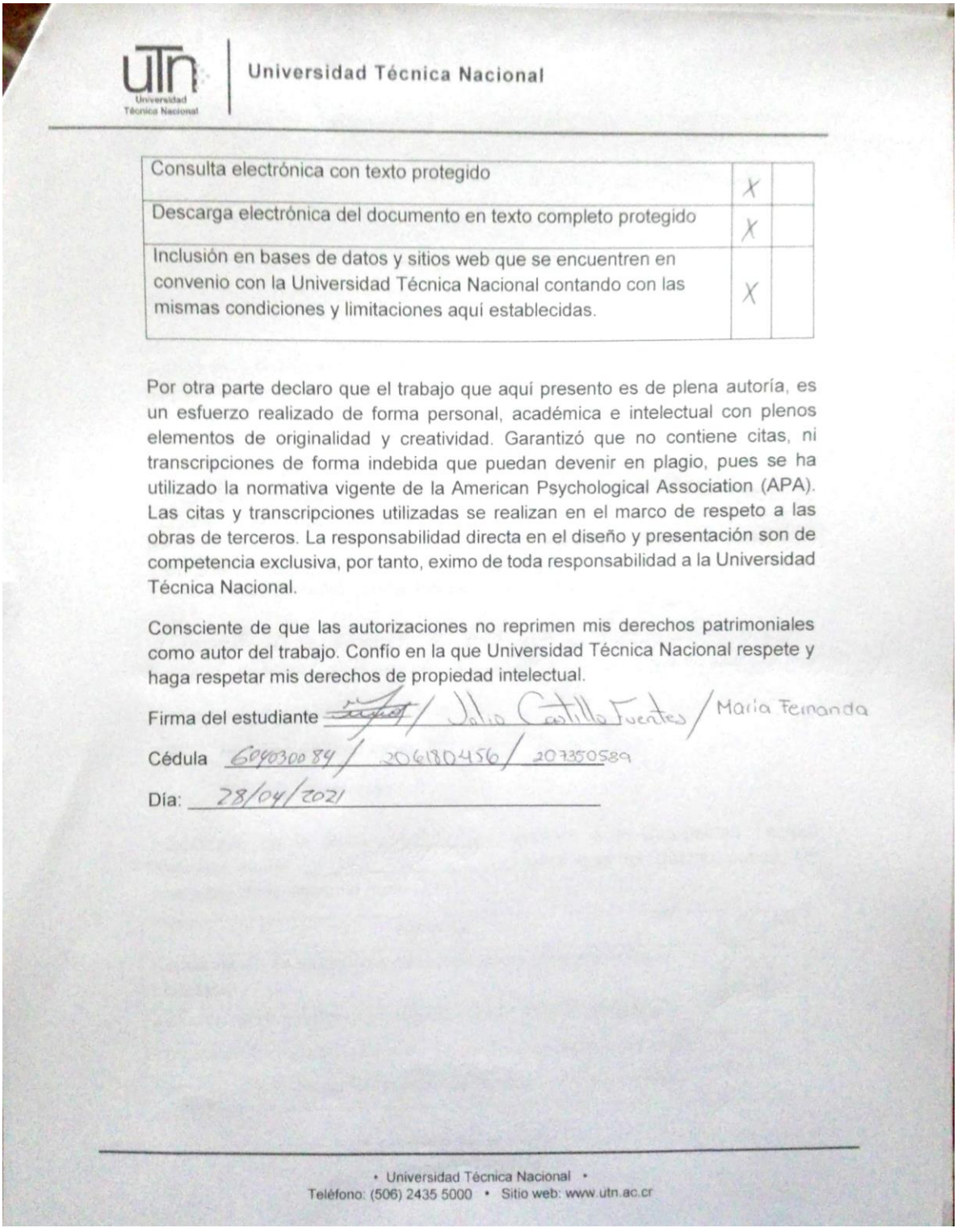
_X_ Proyecto de Graduación

_____ Tesis de Graduación

Presentado en la fecha 16/04/2021, autorizo a la Universidad Técnica Nacional, sede Central, para que mi trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

Autorizo	SI	No
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca	X	
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	X	
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	X	
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	X	

Anexo 9. *Carta de autorización para uso y manejo de TFG, trabajo individual.*



utn Universidad Técnica Nacional | Universidad Técnica Nacional

Consulta electrónica con texto protegido	X	
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	X	
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	X	

Por otra parte declaro que el trabajo que aquí presento es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma personal, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizó que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Consciente de que las autorizaciones no reprimen mis derechos patrimoniales como autor del trabajo. Confío en la que Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar mis derechos de propiedad intelectual.

Firma del estudiante [illegible] / Julia Castillo Fuentes / María Fernanda

Cédula 604030084 / 206180456 / 207350589

Día: 28/04/2021

• Universidad Técnica Nacional •
Teléfono: (506) 2435 5000 • Sitio web: www.utn.ac.cr

Anexo 10. *Carta de autorización para uso y manejo de TFG, trabajo colectivo.*

Universidad Técnica Nacional

Anexo IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACIÓN
UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL
(Trabajo colectivo)

Alajuela, 28/04/2021.

Señores
Vicerrectoría de Investigación
Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores:

Nombre de sustentantes	Cédula
Mario Fernando Bolaños Barrantes	207350589
Héctor Iván Barrs Sánchez	604030084
Julio César Castillo Fuentes	206180456

Nosotros en calidad de autores del trabajo de graduación titulado: Desarrollo de una Propuesta de Tratamiento y Disposición para el agua residual especial Contaminada con adhesivo químico en Imprestora Delta S.A.

El cual se presenta bajo la modalidad de:

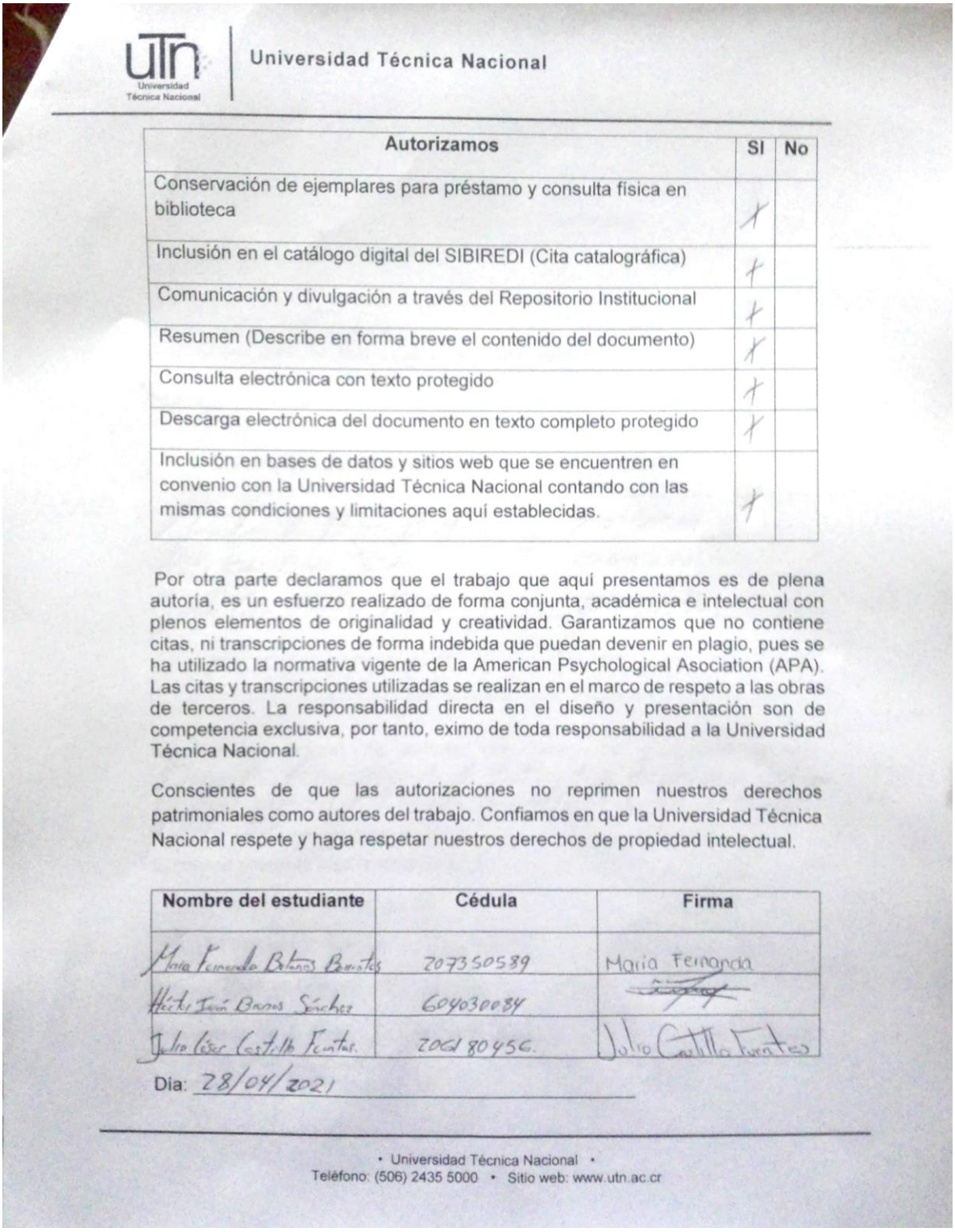
_____ Seminario de Graduación

__X__ Proyecto de Graduación

_____ Tesis de Graduación

Presentado en la fecha 16/04/2021, autorizamos a la Universidad Técnica Nacional, sede Central, para que nuestro trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

Anexo 11. *Carta de autorización para uso y manejo de TFG, trabajo colectivo.*



Universidad Técnica Nacional

Autorizamos	SI	No
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca	X	
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	X	
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	X	
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	X	
Consulta electrónica con texto protegido	X	
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	X	
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	X	

Por otra parte declaramos que el trabajo que aquí presentamos es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma conjunta, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizamos que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Asociation (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Conscientes de que las autorizaciones no reprimen nuestros derechos patrimoniales como autores del trabajo. Confiamos en que la Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar nuestros derechos de propiedad intelectual.

Nombre del estudiante	Cédula	Firma
María Fernanda Batanos Barrantes	207350589	María Fernanda
Hector Iván Barros Sánchez	604030084	
Julio César Castillo Fuentes.	206180456.	Julio Castillo Fuentes

Día: 28/04/2021

• Universidad Técnica Nacional •
Teléfono: (506) 2435 5000 • Sitio web: www.utn.ac.cr

Anexo 12. *Acta firmada.*

Ingeniería en Salud Ocupacional y Ambiente
Sede Central

ACTA

En la ciudad de Alajuela, a los 16 días del mes de abril del año 2021, estando presentes en la Sede Central de la Universidad Técnica Nacional, mediante la plataforma virtual Zoom en el enlace: https://redclara.zoom.us/j/83382939738 las siguientes personas: Sr. Carlos Mora Sánchez, Sra. Alejandra Castro Benítez, Sr. Javier Chacón Barrantes, Sr. Francisco Salgado Solano en su condición de miembros del Tribunal Evaluador, para evaluar el Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Salud Ocupacional y Ambiente de los estudiantes: , María Fernanda Bolaños Barrantes, cédula 207350589, Héctor Iván Brenes Sánchez, cédula 604030084 y Julio César Castillo Fuentes, 206180456.

Reunido el Tribunal Evaluador y los aspirantes, procedieron a defender su Trabajo Final de Graduación "Desarrollo de una propuesta de tratamiento y disposición para el agua residual especial contaminada con adhesivo químico en Impresora Delta S.A."

Concluida la defensa del Trabajo Final de Graduación, el Tribunal Evaluador consideró que, de conformidad con la normativa en la materia, los estudiantes obtuvieron una calificación de 9.8 nueve puntos ocho, cumpliendo con las exigencias requeridas para la aprobación del Trabajo Final de Graduación y le es conferido el grado de Licenciatura en Ingeniería en Salud Ocupacional y Ambiente. Una vez finalizada la condición de la Pandemia en la que no podemos presentarnos en la Universidad se deberá de finalizar los requisitos del grado de Licenciatura en Ingeniería en Salud Ocupacional y Ambiente.

CARLOS ANTONIO MORA SANCHEZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por CARLOS ANTONIO MORA SANCHEZ (FIRMA)
Fecha: 2021.04.16 13:05:12 -06'00'

Sr. Carlos Mora Sánchez
Director de carrera
Presidente del Tribunal Evaluador