



# **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TRATABILIDAD DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL GENERADA DE  
UNA ACTIVIDAD METALMECANICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

VALERIA ROXANA BUSTAMANTE LÓPEZ

YESENIA CHENOA CHACÓN VERA

TUTOR: VIRGILIO ALONSO ORDOÑEZ RAMÍREZ

Guayaquil-Ecuador

2023

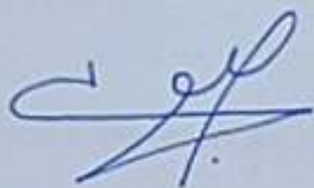
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotras, Valeria Roxana Bustamante López con documento de identificación N° 0932071566 y Yesenia Chenoa Chacón Vera con documento de identificación N° 0956553440; manifestamos que:

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

Guayaquil, 26 de febrero del año 2024

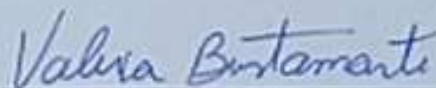
Atentamente,



---

Yesenia Chenoa Chacón Vera

0956553440



---

Valeria Roxana Bustamante López

0932071566

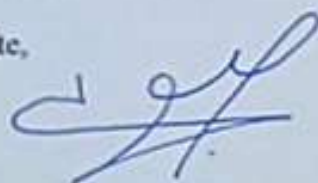
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotras, Valeria Roxana Bustamante López con documento de identificación No. 0932071566 y Yesenia Chenoa Chacón Vera con documento de identificación No. 0956553440, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo experimental: TRATABILIDAD DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL GENERADA DE UNA ACTIVIDAD METALMECANICA, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 26 de febrero del año 2024

Atentamente,



Yesenia Chenoa Chacón Vera

0956553440



Valeria Roxana Bustamante López

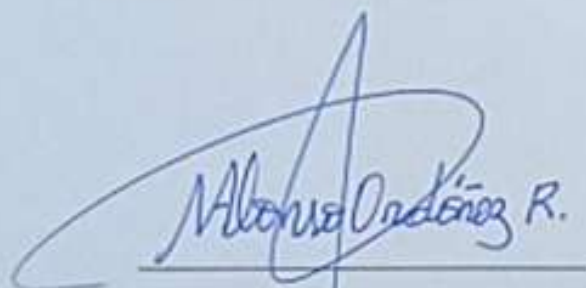
0932071566

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Virgilio Alonso Ordoñez Ramírez con documento de identificación N° 0909780850, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación TRATABILIDAD DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL GENERADA DE UNA ACTIVIDAD METALMECANICA, realizado por Valeria Roxana Bustamante López con documento de identificación N° 0932071566 y por Yesenia Chenoa Chacón Vera con documento de identificación N° 0956553440, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de febrero del año 2024

Atentamente,



Ing. Virgilio Alonso Ordoñez Ramírez

No. 0909780850

## **Dedicatoria**

Dedicado a Dios que me ha ayudado a seguir adelante y de manera especial a mis padres y mi hermana que son un soporte importante para mí y su mayor deseo es verme lograr conseguir mi título, pero sobre todo a impulsarme hacia adelante y nunca rendirme.

Valeria Roxana Bustamante López

## **Dedicatoria**

Con profundo amor y gratitud, dedico con devoción este proyecto experimental a Dios, cuya inagotable guía y apoyo han sido mi faro en el camino hacia el logro. En un reconocimiento especial, mi corazón se llena de agradecimiento hacia mi madre, cuyo amor incondicional y sacrificios incansables han pavimentado el sendero de mi crecimiento. A mi padre quien me brindó su amor incondicional y me hizo desde niña una mujer amorosa. A mi abuela, que desde el cielo vela por mí con su amor eterno, le dedico este esfuerzo, anhelando que su luz siga iluminando mi camino. A mis amados hermanos, cuyo respaldo ha sido mi pilar inquebrantable, les agradezco por ser mi constante fuente de fortaleza. Su mayor deseo de verme alcanzar mi título resuena como un eco de amor y confianza en mi capacidad. Con este proyecto, rindo homenaje a esa inquebrantable fe que todos ustedes depositan en mí, comprometiéndome a avanzar con determinación y nunca rendirme, pues cada logro es también su triunfo compartido en este viaje llamado vida.

Yesenia Chenoa Chacón Vera.

## **Agradecimiento**

Le doy gracias a Dios por ayudarme en los momentos difíciles en que estuve a punto de darme por vencida, por escucharme cuando tenía problemas y por siempre velar por la seguridad de mi familia.

A mis padres que han sido siempre un soporte fundamental en mi vida, me enseñaron a perseverar, a superar los obstáculos con inteligencia y me han dado su apoyo incondicional en cualquier situación.

Valeria Roxana Bustamante López

## **Agradecimiento**

En este significativo camino académico, deseo comenzar expresando mi agradecimiento a Dios, fuente inagotable de sabiduría y guía, por iluminar mi senda y brindarme la fortaleza para emprender este viaje educativo.

A mi amada madre, faro de amor y ejemplo inquebrantable de sacrificio, le dedico estas líneas con profundo agradecimiento. Tu apoyo incondicional y amor han sido mi mayor inspiración y motor para alcanzar este logro académico.

A mi abuela querida, que ahora descansa en el cielo, le dedico un tributo lleno de amor y gratitud. Tus enseñanzas y cariño continúan guiando mis pasos, y esta tesis se erige como un homenaje a la mujer ejemplar que fuiste.

A mis hermanos, compañeros inseparables de este recorrido, les agradezco por su aliento constante y apoyo inquebrantable. Juntos hemos enfrentado desafíos y celebrados triunfos, y esta tesis refleja el fruto de nuestra unidad y colaboración.

A la comunidad académica y a aquellos que contribuyeron al desarrollo de este trabajo, agradezco su valiosa orientación y apoyo técnico.

Finalmente, agradezco a cada persona que Dios me presentó en el camino ya que he aprendido mucho de ellas para seguir adelante y no darme por vencida. Este esfuerzo no solo es mío, sino también de aquellos que, con su sabiduría, han enriquecido este proyecto.

Con gratitud y amor,

Yesenia Chenoa Chacón Vera.



## **Resumen**

La metalmecánica es una industria que comprende de la utilización de materiales metálicas para la fabricación de herramientas para el uso y consumo, como una de las mayores productoras de metales productos como maquinarias o laminación es también uno de los mayores contaminantes de aguas, en Ecuador es un tema de vital importancia pues sabemos que tiene una gran influencia en el ámbito ambiental porque es nuestro recurso más utilizado, es evidente que para poder controlar los residuos se necesitan normas y lineamientos a seguir para llegar a un equilibrio. Por consiguiente este trabajo de titulación radica en su capacidad para mejorar la calidad del agua residual industrial, reduciendo su carga contaminante y minimizando su impacto negativo en el medio ambiente y en la salud humana mediante la implementación de sistemas de tratamiento de aguas, en la cual se mencionaran las cuales son las características fisicoquímicos para la determinación de las concentraciones de los contaminantes, la ejecución a seguir para definir la propuesta de tratamiento y el costo de la planta y su financiamiento que establecerá una visión económica a la propuesta, donde se llegaran a las evaluaciones de los resultados de los análisis, se concluirá si fue efectivo el plan de tratabilidad y se recomendará como mejorar el tratamiento si se llega a utilizar los datos para otro trabajo a un futuro.

Palabras clave: Industria metalmecánica, contaminantes, tratamiento de aguas, residuos, normas y lineamientos.

## **Abstract**

Metal mechanics is an industry that includes the use of metal materials for the manufacture of tools for the use and consumption, as one of the largest producers of metal products such as machinery or lamination is also a major pollutant of water, in Ecuador it is a matter of vital importance because we know that it has a great influence in the environmental area because it is our most used resource, it is obvious that in order to be able to control the waste you need standards and guidelines to follow to reach a balance. Therefore, this titration work lies in its ability to improve the quality of industrial waste water, reducing its polluting load and minimizing its negative impact on the environment and human health through the implementation of water treatment systems, which will mention what are the physicochemical characteristics for determining the concentrations of pollutants, the execution to be followed to define the treatment proposal and the cost of the plant and its financing that will establish an economic vision to the proposal, where the evaluations of the results of the analyses will be reached, whether the treatment plan was effective and recommended how to improve and treatment if it comes to use the data for another work in the future.

Key words: Metalworking industry, pollutants, water treatment, waste, standards and guidelines.

## **INDICE DE CONTENIDO**

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Planteamiento de la Problemática .....	2
1.2.1. Descripción del Problema en la industria metalmecánica.....	2
1.2.2. Definición del Problema.....	3
1.3 Delimitaciones .....	4
1.3.1 Geográfica o Espacial .....	4
1.3.2 Temporal .....	4
1.3.3 Sectorial.....	5
1.4 Justificación.....	5
1.5 Objetivos .....	7
1.5.1 Objetivo General.....	7
1.5.2 Objetivos Específicos.....	7
1.6 Hipótesis.....	7
1.6.1 Hipótesis general.....	7
1.6.2 Hipótesis específicas .....	7
1.7 Limitaciones de la investigación .....	8
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>10</b>

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1 Calidad del agua .....	10
2.2 La industria metalmeccánica.....	10
2.3 Agua residual industrial .....	11
2.4 Consecuencias por contaminantes de metales pesados.....	11
2.5 Importancia del rehúso de aguas residuales industriales .....	11
2.6 Método de tratabilidad por test de jarra .....	12
2.7 Filtración por arena, grava, piedras y carbón activado .....	12
2.8 Parámetros de evaluación.....	12
2.8.1 Componentes físicos .....	13
2.8.2 Componentes químicos .....	14
2.9 Planta de tratamiento para las industrias.....	16
2.10 Marco legal.....	16
Código Orgánico del Ambiente.....	16
Ley orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamientos del Agua.....	17
El Acuerdo Ministerial 097-A, junto con sus Anexos de Normativa, representa una reforma significativa al Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente .....	17
LIBRO VI ANEXO 1 286 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA .....	18

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2176:2013 Primera revisión AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO..	18
NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2169:2013 Primera revisión AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS .....	19
Guía para ejecución de monitoreos de aguas residuales industriales .....	19
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>20</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
3.1 Tipo de investigación.....	20
3.2 Reconocimiento de la unidad de análisis .....	20
3.2.1 Método de análisis de los resultados de la determinación de parámetros. .	23
3.3 Fases de la tratabilidad del agua residual.....	24
3.3.1 Recolección de la muestra.....	24
3.3.2 Preparación para la toma de muestra inicial.....	25
3.3.3 Determinación del caudal.....	26
3.3.4 Caracterización de la muestra de agua In Situ.....	26
3.4 Análisis de las muestras .....	28
3.4.1 Análisis preliminar .....	28
3.4.2 Análisis físicos, químicos y biológicos de la muestra de agua residual industrial .....	28
3.5 Precipitación química por TEST DE JARRA.....	28

3.5.1	¿Cómo formamos los Floccs?	30
3.5.2	Gradiente de velocidad	30
3.5.3	¿Cómo se dosificó?	30
3.5.4	¿Cómo saber cuánto agitar?	32
3.5.5	Pruebas de tratamiento preliminar	32
3.6	Filtración por carbón activado	33
3.7	Planta de tratabilidad de agua residual industrial de metalmecánica	33
3.8	Determinación de los rubros de materiales y equipos	34
<b>CAPÍTULO IV</b>		<b>35</b>
<b>4.</b>	<b>Resultados</b>	<b>35</b>
4.1	Descripción del proceso que genera el agua residual industrial	35
4.2	Características de la unidad de almacenamiento del agua residual industrial	37
4.3	Toma de muestra del área de muestreo In situ	38
4.4	Resultados de Pruebas del agua residual industrial	39
4.4.1	Análisis comparativo de resultados de las pruebas del agua residual industrial	45
4.5	Resultados y análisis de las mediciones del caudal	46
4.5.1	Análisis de la medición volumétrica de la planta de tratamiento según el caudal	47
4.6	Resultado del ajuste de pH en la muestra cruda de agua residual industrial	47
4.7	Prueba de Jarra	48

4.8	Análisis del tiempo óptimo de Coagulación .....	54
4.8.1	Datos de tiempo de coagulación .....	54
4.9	Análisis de tiempo de floculación .....	55
4.9.1	Datos del tiempo de floculación .....	55
4.10	Determinación de tiempo óptimo para la sedimentación .....	56
4.10.1	Análisis del tiempo de sedimentación .....	56
4.11	Descripción del proceso de tratamiento de agua residual .....	56
4.11.1	Zona de floculación .....	56
4.11.2	Tanque de almacenamiento de lodos .....	57
4.11.3	Filtros .....	58
4.11.4	Salida de agua tratada .....	59
4.12	Diseño de la Planta de tratamiento .....	59
4.13	Financiamiento de la planta de tratamiento .....	61
4.14	Costo beneficio .....	67
4.15	Comprobación de Hipótesis .....	68
<b>CAPITULO V</b>	.....	<b>69</b>
5.1	Conclusiones .....	69
5.2	Recomendaciones .....	71
<b>Referencias bibliográficas</b>	.....	<b>73</b>
<b>ANEXOS</b>	.....	<b>76</b>

## INDICE DE FIGURA

Figura 1. Diagrama de dosificación óptima.....	31
Figura No. 2 Proceso de Lavado por inmersión.....	36
Figura No. 3 Dimensiones de cisterna para el almacenaje de aguas residuales del proceso de fosfatado.....	37
Figura No. 4 Modelo de planta de tratamiento.....	60

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Determinación de parámetros y sus métodos .....	21
Tabla 2	Modelo de tabla para registro de Resultados de análisis del agua residual industrial sometida a precipitación química más filtración. ....	23
Tabla 3	Modelo de tabla para la comparación de resultados de los análisis del agua residual industrial cruda y sometidas a tratabilidad. ....	24
Tabla 4	Materiales para la recolección de muestras in situ .....	25
Tabla 1	Registro de datos de la muestra in situ del agua residual industrial.....	27
Tabla 2	Tiempo de sedimentación en 30 centímetros de agua según su diámetro con densidad específica de 2,65.....	29
Tabla 3	Rubros, cantidad y descripción .....	34
Tabla 4	Registro de datos de la muestra in situ del agua residual industrial.....	38
Tabla 5	Resultados del análisis del agua residual industrial cruda.....	40



<b>Tabla 6</b>	<b>Resultados del análisis del agua residual industrial sometida a precipitación química .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 7</b>	<b>Resultados del análisis del agua residual industrial sometida a precipitación química más filtración.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 1</b>	<b>Comparación de resultados de los análisis del agua residual industrial cruda y sometida a tratabilidad.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 2</b>	<b>Pruebas de precipitación química con concentración de sulfato de aluminio al 1% .....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 3</b>	<b>Pruebas de precipitación química con concentración de sulfato de aluminio al 1% en el rango de 17 ml a 24 ml .....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 4</b>	<b>Pruebas de precipitación química con concentración de sulfato de aluminio al 1% y floculante.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 5</b>	<b>Pruebas de precipitación química con concentración de sulfato de aluminio al 10% y floculante .....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 6</b>	<b>Tiempo de coagulación .....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 18.</b>	<b>Tiempo de floculación .....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 19.</b>	<b>Tiempo de sedimentación .....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 7</b>	<b>Terreno y obras civiles.....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 8</b>	<b>Maquinaria, mobiliarios y equipos.....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 9</b>	<b>Otros activos .....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 10</b>	<b>Total, de la inversión fija inicial .....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 11</b>	<b>Materiales directos.....</b>	<b>64</b>

<b>Tabla 12</b>	<b>Mano de obra directa.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 13</b>	<b>Costos directos de producción.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 14</b>	<b>Costos indirectos de producción.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 15</b>	<b>Costos totales de producción.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 16</b>	<b>Gatos generales.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 17</b>	<b>Costos Totales.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 18</b>	<b>Capital de trabajo.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 19</b>	<b>Clasificación de los costos.....</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 20</b>	<b>Evaluación de costo beneficio.....</b>	<b>67</b>

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCION**

#### **1.1 Antecedentes**

La industria metalmecánica, pilar fundamental en el desarrollo económico, enfrenta una serie de desafíos medioambientales, sociales, económicos y políticos relacionados con la gestión de aguas residuales. Estos desafíos, impulsados por la naturaleza intensiva de esta industria, tienen consecuencias significativas en diversos aspectos, tanto a corto como a largo plazo.

El tratamiento inadecuado de las aguas residuales de la industria metalmecánica representa un problema ambiental crucial. Estos efluentes a menudo contienen metales pesados y compuestos tóxicos, que, cuando se liberan sin control, amenazan la calidad del agua y la vida acuática. La contaminación del agua puede desencadenar una cascada de efectos negativos, afectando los ecosistemas acuáticos y, en última instancia, repercutiendo en la salud humana.

El estudio de la calidad del agua a realizarse será de tipo experimental y se desarrollará en una industria metalmecánica en la sección de decapado ubicada en el Km. 7.5 vía Daule, cantón Guayaquil, provincia del Guayas. Para la evaluación y comparación de los resultados obtenidos de las muestras de agua residual industrial utilizaremos la normativa ambiental vigente considerando la ubicación geográfica de la empresa y su punto de descarga. En este caso, el Acuerdo Ministerial 097 A del Libro VI del TULSMA, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

Para recopilar la información se llevó a cabo visitas técnicas en las instalaciones de la empresa, donde se recolectó las muestras correspondientes de la cisterna donde se

almacena el agua residual de sus procesos de fosfatado hasta la descarga al sistema de alcantarillado. Las muestras del agua residual industrial se someterán a evaluación en el laboratorio de química de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil del Campus María Auxiliadora.

## **1.2 Planteamiento de la Problemática**

### **1.2.1. *Descripción del Problema en la industria metalmecánica***

Una empresa metalmecánica enfrenta una problemática ambiental significativa al no tener suficiente capacidad de almacenamiento de aguas residuales en sus cisternas y este rebosaba al alcantarillado público. Esta situación compromete la calidad del agua y amenaza la salud del ecosistema acuático circundante. La ausencia de un sistema de tratamiento adecuado expone a la empresa a sanciones legales y multas, al tiempo que contribuye a la deterioración general del entorno. La falta de conciencia ambiental y de prácticas sostenibles no solo afecta la imagen corporativa, sino también la viabilidad a largo plazo de la empresa en un contexto regulatorio cada vez más estricto en materia ambiental.

La entidad sujeta a análisis vierte sus efluentes industriales sin someterlos previamente a procesos de adecuación al sistema de desagüe. Considerando que los desechos líquidos vinculados a este procedimiento productivo derivan de la actividad cotidiana de limpieza de superficies metálicas, dichas aguas se almacenan en un depósito que alberga, entre otros elementos, ácido clorhídrico, fosfato y sustancias grasas.

Según un artículo de eficiencia en las industrias de fabricación de metales los métodos convencionales para el tratamiento de efluentes líquidos pueden ser intrincados, a menudo involucran numerosos pasos, una diversidad de compuestos químicos y una cantidad significativa de recursos humanos. Aunque el procedimiento esté supuestamente

automatizado, con frecuencia se requiere la presencia de técnicos para vigilar el equipo directamente (Metalmecánica, 2020).

En el ámbito de la industria metalmecánica, se ha constatado la ausencia de un sistema destinado al tratamiento de sus desechos líquidos. Este proyecto tiene como objetivo principal la identificación, evaluación y formulación de una propuesta para un tratamiento efectivo y sostenible. La realización de pruebas de tratabilidad se erige como una herramienta fundamental para determinar el diseño idóneo de una instalación de tratamiento de aguas industriales, lo que posibilitará que la compañía realice la descarga de los efluentes en el sistema de alcantarillado sin exceder los límites máximos permitidos establecidos.

Según un estudio de eliminación de metales es imperativo realizar una eliminación efectiva de los metales antes de proceder con la descarga, con el fin de prevenir cualquier impacto perjudicial en el entorno (Abdel-Shafy et al., 2022).

### ***1.2.2. Definición del Problema***

La falta de un sistema de tratamiento eficaz expone a la comunidad a riesgos significativos, incluyendo problemas de salud a corto y largo plazo, así como posibles impactos en la calidad del aire y del suelo. La empresa, al no abordar esta problemática, se expone no solo a consecuencias legales, sino también a la pérdida de confianza por parte de la comunidad y a daños irreparables en su reputación. La urgente necesidad de implementar prácticas ambientales responsables se convierte así en una prioridad ineludible para asegurar la sostenibilidad y la aceptación social de la empresa.

Las comunidades aledañas no son conscientes del daño por ciertas razones, en especial por la falta de conocimiento sobre el tema los contaminantes en el agua pueden generar

problemas de salud crónicos en la población local, desde enfermedades dermatológicas hasta complicaciones más graves como problemas reproductivos y carcinogénesis.

Estos problemas de salud, a su vez, generan una carga económica adicional para los sistemas de salud, afectando la calidad de vida de la población y creando desigualdades en el acceso a la atención médica.

### **1.3 Delimitaciones**

En las delimitaciones que servirán de apoyo para nuestro tema de investigación experimentación abarcarán aspectos fundamentales como la determinación el alcance espacial, temporal, sensorial e institucional a si mismo serán presentadas de manera puntual y detallada.

#### ***1.3.1 Geográfica o Espacial***

La empresa que será de estudio para esta investigación es una empresa metalmecánica en la sección de decapado que se encuentra ubicada en el Km. 7.5 vía Daule, cantón Guayaquil, provincia del Guayas en Ecuador.

Su infraestructura constituye en una instalación de 2 pisos que contiene áreas cercanas a la población urbana del lugar y a su lado se encuentra un taller industrial.

#### ***1.3.2 Temporal***

La elaboración del trabajo propuesto será entregada dentro de un periodo de cuatro meses comenzando, empezando desde noviembre del año 2023 hasta febrero del 2024.

Nuestra evaluación se basó en la toma de muestras en un punto específico, siendo esta la cisterna de almacenaje del agua residual industrial del proceso de fosfatado. Se midió el pH con un compensador automático de temperatura y conductividad de las muestras en el lugar de muestreo y se anotó en una hoja de registro toda observación visual relevante, como color, turbidez o presencia de sólidos.

Se documentaron el cambio físico (turbidez, color, olor, temperatura y sólidos disueltos totales) observados en las condiciones climáticas o eventos inusuales que pudieran haber afectado la calidad de la muestra para luego entregar la muestra a un laboratorio junto con la información de etiquetado y documentación.

### ***1.3.3 Sectorial***

El sector en cuestión se caracteriza por su diversidad industrial, albergando una amalgama de actividades que abarcan desde el transporte hasta la industria textil y ferreterías, entre otras. Este conglomerado de sectores empresariales crea un entorno aparentemente concurrido, donde numerosas empresas coexisten en proximidad geográfica.

La coexistencia de diversas industrias en esta localidad podría dar lugar a la descarga de una variedad de sustancias contaminantes. Abordar esta complejidad requiere un análisis detallado de las actividades específicas de cada empresa en relación con la gestión de aguas residuales, pero solo nos concentraremos en la empresa que hemos escogido.

### **1.4 Justificación**

En el ámbito de la industria metalmecánica, se ha constatado la ausencia de un sistema destinado al tratamiento de sus desechos líquidos. Por ende, este proyecto tiene como objetivo principal la identificación, evaluación y formulación de una propuesta para un tratamiento efectivo y sostenible. La realización de pruebas de tratabilidad se erige como una herramienta fundamental para determinar el diseño idóneo de una instalación de tratamiento de aguas industriales, lo que posibilitará que la compañía realice la descarga de los efluentes en el sistema de alcantarillado sin exceder los límites máximos permitidos establecidos.

La evaluación de la aptitud para tratar el vertido líquido derivado de operaciones industriales metalmecánicas es imperativa en el actual contexto de creciente conciencia medioambiental y preocupaciones relacionadas con la contaminación industrial. Estas actividades liberan desechos con concentraciones de compuestos químicos nocivos, lo cual compromete la calidad del agua. Un enfoque centrado en este desafío aspira a atender la urgente necesidad de concebir estrategias de tratamiento que sean tanto eficientes como sostenibles, con el propósito de mitigar los efectos medioambientales. Además, la gestión sustentable de estos efluentes no solo preserva los recursos hídricos, sino que también respalda la responsabilidad social empresarial y promueve prácticas industriales más respetuosas con el entorno.

La significancia de esta indagación se magnifica al considerar que las operaciones industriales metalmecánicas representan sectores esenciales para el desarrollo económico, aunque su repercusión medioambiental ha sido frecuentemente menospreciada. Al encarar la aptitud para tratar los efluentes líquidos, la tesis propuesta aspira a proporcionar soluciones concretas que faculten a estas industrias cumplir con normativas ambientales más rigurosas. Además, al concentrarse en perspectivas de gestión sostenible, la investigación no solo se ocupa de atenuar los perjuicios, sino que también formula estrategias a largo plazo que fomentan la eficiencia en la utilización de recursos y la disminución del impacto medioambiental global de estas actividades industriales esenciales. En última instancia, se fomentará un equilibrio armónico entre el avance industrial y la preservación del entorno, ofreciendo contribuciones valiosas para la adopción de prácticas más sostenibles.



## **1.5 Objetivos**

### ***1.5.1 Objetivo General***

Realizar la tratabilidad del agua residual industrial de una actividad metalmeccánica mediante test de jarra con el propósito de proponer un diseño para su tratamiento.

### ***1.5.2 Objetivos Específicos***

- Caracterizar el agua residual industrial mediante ensayos fisicoquímicos para determinar la concentración de los contaminantes presentes en el agua de la industria metalmeccánica.
- Ejecutar la tratabilidad de las aguas residuales industriales mediante ensayos para definir una propuesta de tratamiento.
- Determinar el costo de la planta de tratamiento por medio de un estudio financiero para establecer su viabilidad económica.

## **1.6 Hipótesis**

### ***1.6.1 Hipótesis general***

¿Realizando la tratabilidad del agua residual de una industria metalmeccánica se podrá proponer un diseño para su tratamiento?

### ***1.6.2 Hipótesis específicas***

- ¿Caracterizando el agua residual mediante ensayos físico químicas se determinará la concentración de los contaminantes presentes en el agua de la industria metalmeccánica?
- ¿Ejecutando la tratabilidad de las aguas residuales mediante ensayos se definirá una propuesta de tratamiento?
- ¿Determinando el costo de la planta de tratamiento por medio de un estudio financiero se establecerá su viabilidad económica?

## **1.7 Limitaciones de la investigación**

La investigación experimental sobre la tratabilidad del agua residual industrial generada por una actividad metalmecánica puede enfrentar diversas limitaciones. Aquí hay algunas posibles limitaciones que podrían surgir:

**Complejidad de la matriz de agua residual:** El agua residual industrial de la actividad metalmecánica puede contener una amplia variedad de contaminantes, incluyendo metales pesados, compuestos orgánicos, aceites y productos químicos diversos. La complejidad de esta matriz puede dificultar la identificación y cuantificación precisa de los contaminantes, así como la determinación de los métodos de tratamiento más eficaces.

**Disponibilidad de datos:** La falta de datos históricos o la limitada disponibilidad de información sobre la composición y las características del agua residual industrial específica puede afectar la precisión de la investigación. La falta de datos puede hacer que sea difícil establecer una línea de base sólida para evaluar la eficacia de los métodos de tratamiento.

**Variabilidad en las condiciones de producción:** Las condiciones de producción en la actividad metalmecánica pueden variar, lo que puede influir en la composición y la carga contaminante del agua residual. La variabilidad en estas condiciones puede dificultar la reproducibilidad de los resultados y la generalización de los hallazgos.

**Limitaciones de equipamiento y tecnología:** La disponibilidad de equipos de monitoreo y tecnologías de tratamiento avanzadas puede ser limitada, lo que podría afectar la capacidad para realizar mediciones precisas o implementar tratamientos específicos.

Factores externos y ambientales: Condiciones climáticas, cambios estacionales y otros factores externos pueden influir en la calidad del agua residual y en la eficacia de los tratamientos. Estas variables pueden ser difíciles de controlar en un entorno experimental.

Aspectos económicos: La viabilidad económica de los métodos de tratamiento también puede ser una limitación. Algunas tecnologías pueden ser costosas de implementar y mantener, lo que puede afectar su aplicabilidad a nivel industrial.

Cumplimiento normativo: Las regulaciones y normativas locales pueden imponer restricciones y estándares específicos para el tratamiento del agua residual. Asegurarse de cumplir con estas normativas puede ser un desafío y puede limitar las opciones de tratamiento disponibles.

Duración del estudio: Los estudios experimentales requieren tiempo, y la duración del proyecto podría ser una limitación. Los cambios en las condiciones del agua residual a lo largo del tiempo pueden afectar la validez de los resultados obtenidos.

Es importante abordar estas limitaciones de manera adecuada y transparente en la tesis experimental, reconociendo las posibles fuentes de error y proponiendo estrategias para minimizar su impacto en la validez de los resultados.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Calidad del agua

El aumento del deterioro en la calidad del agua constituye un significativo problema medioambiental en constante crecimiento, siendo reconocido como uno de los principales desafíos (Salgot et al., 1999).

En el ámbito de la industria metalmecánica, se emplean una variedad de productos químicos, incluyendo ácidos, solventes y metales pesados, los cuales pueden tener un impacto negativo en la calidad del agua si no se gestionan de manera apropiada. Es crucial que las empresas implementen prácticas y tecnologías destinadas a reducir al mínimo la contaminación del agua y garantizar la conformidad con los estándares ambientales (Charaja, 2020).

#### 2.2 La industria metalmecánica

La metalmecánica se define como una industria dinámica que abastece a los demás eslabones de la cadena productiva con maquinaria, bienes de consumo y herramientas de carácter metálico personalizadas. Su objetivo principal es transformar la materia prima de metales para obtener láminas, alambres, placas, etc., que luego se utilizan como repuestos, piezas de automóviles, receptores de radio, tuercas y otros productos finales para una amplia variedad de sectores, como agua, gas, calefacción, automoción e industria aeronáutica, entre otros (Slu, M. I. 2020, julio 9).

### **2.3 Agua residual industrial**

Las aguas residuales industriales, cargadas con una variedad de contaminantes químicos y biológicos, plantean desafíos significativos para la gestión del agua y la protección del medio ambiente.

El deterioro de las fuentes de agua, tanto dulce como salada, se debe principalmente a la descarga descontrolada de aguas residuales urbanas e industriales, a menudo sin tratamiento, y a prácticas agrícolas inadecuadas. Este problema se ve agravado por la contaminación atmosférica, la acumulación de químicos en suelos y sedimentos, la sobreexplotación de aguas subterráneas, las actividades mineras y extractivas, y la degradación de humedales (Charaja, 2020).

### **2.4 Consecuencias por contaminantes de metales pesados**

La contaminación industrial por metales pesados en el agua representa un grave riesgo para la salud humana y la biodiversidad acuática, debido a su capacidad para alterar procesos bioquímicos y acumularse en los ecosistemas. La intensificación de la extracción y uso de metales pesados, junto con el desarrollo urbano y la liberación de aguas residuales sin tratar, contribuyen significativamente a la contaminación ambiental.

En diversos hábitats acuáticos y sedimentos, se puede observar la acumulación de metales pesados, lo cual puede provocar alteraciones en la cadena alimentaria. Los organismos que habitan en estos ecosistemas, como los peces, tienen la capacidad de acumular estos metales pesados en sus tejidos, lo que puede desencadenar efectos perjudiciales en el equilibrio de sus ecosistemas (ElLabWebMaster, 2023).

### **2.5 Importancia del reúso de aguas residuales industriales**

La gestión inteligente de aguas residuales, mediante su reciclaje y reutilización in situ, se ha convertido en una estrategia empresarial eficaz para incrementar la rentabilidad. El

alto costo asociado al transporte hacia instalaciones externas se reduce significativamente con esta práctica. Además, la reutilización en procesos industriales propios conlleva ahorros en eliminación y energía. Esta estrategia resulta especialmente beneficiosa para industrias con alta demanda hídrica, proporcionando una solución económica y sostenible (*Human Verification*, s. f.).

## **2.6 Método de tratabilidad por test de jarra**

La finalidad esencial del ensayo de jarras radica en la identificación de la cantidad idónea de coagulante y floculante que facilita una óptima clarificación y remoción de partículas en suspensión presentes en el líquido. Este análisis proporciona una valoración de la eficacia del procedimiento de purificación y permite la optimización de los métodos de depuración hídrica. Se pueden aplicar diversos parámetros de valoración, como la turbiedad, la limpieza y la existencia de partículas en suspensión (Prueba De Jarras: Método Esencial Para Tratar Aguas, 2023).

## **2.7 Filtración por arena, grava, piedras y carbón activado**

La tecnología de filtración por carbón activado es ampliamente utilizada en la purificación de agua. Este medio de filtración elimina eficazmente los compuestos orgánicos en el agua. Los filtros de arena, grava, piedras y carbón activado, al permitir que los contaminantes se adhieran a ellos, son eficaces para reducir la presencia de diversos productos químicos, la demanda química de oxígeno (DQO) y mejorar el color en las aguas residuales (*Carbón Activado Filtración: Importancia y Aplicación Tratamiento Agua*, 2024).

## **2.8 Parámetros de evaluación**

Los elementos metálicos de elevada masa molecular poseen una solubilidad considerable en el entorno acuático y son prontamente asimilados por organismos

acuáticos y vegetales. Consecuentemente, estos metales pueden acumularse tanto en la cadena trófica como en la red alimentaria, llegando eventualmente al cuerpo humano. En respuesta, se han concebido diversas estrategias para el tratamiento de aguas residuales, aplicando métodos destinados a disminuir las concentraciones de metales pesados. Entre estos enfoques se encuentran el tratamiento químico técnico, el tratamiento químico físico, y otros métodos empleados con el propósito de mitigar la presencia de metales pesados en los efluentes líquidos (Bo Chen et al 2020).

### ***2.8.1 Componentes físicos***

#### **2.8.1.1 Color**

La detección de color señala la presencia de sustancias no habituales, atribuible tanto a materia en suspensión como a la existencia de compuestos disueltos. Principalmente, este fenómeno es causado por compuestos orgánicos de origen natural, como taninos y ácidos húmicos, así como por aportes artificiales provenientes de vertidos industriales (Ramírez Rodríguez, J. C 2023).

#### **2.8.1.2 Temperatura**

En términos generales, la temperatura más alta puede acelerar la tasa de reacción química y biológica, lo que aumenta la eficiencia del tratamiento. Sin embargo, si la temperatura es demasiado alta, puede matar a los microorganismos necesarios para el 10 tratamiento biológico. Además, la temperatura también puede afectar la solubilidad de los contaminantes en el agua, lo que puede afectar la eficacia del tratamiento. Es importante tener en cuenta que el efecto de la temperatura en el tratamiento de aguas residuales puede variar según el tipo de contaminante y el proceso de tratamiento utilizado. Por lo tanto, se recomienda realizar un análisis detallado de la temperatura y otros factores ambientales para determinar el mejor proceso de tratamiento para una

industria metalúrgica específica (Beleño, J. Coll, J. De la Hoz, A. Donado, J. Reyes, G. Castellar y C. Díaz, 2022).

### **2.8.1.3 Turbidez del agua**

La turbidez se emplea comúnmente como indicador de la presencia de sólidos, especialmente coloidales, en aguas naturales. Este parámetro se origina a partir de la erosión y transporte de materia coloidal, como arcilla, fragmentos de roca y sustancias del lecho, por parte de los ríos en su curso, así como de las contribuciones de fibras vegetales y aguas residuales, tanto domésticas como industriales (Sánchez Figueredo et al., 2021).

### **2.8.1.4 Sólidos disueltos totales (SDT)**

Los sólidos disueltos totales en aguas residuales se refieren a la cantidad total de materia sólida que se encuentra en forma disuelta en el agua residual. Estos sólidos pueden ser compuestos orgánicos e inorgánicos, como sales, minerales, compuestos químicos y otros materiales disueltos en el agua. La presencia de sólidos disueltos totales en aguas residuales es un indicador importante de la calidad del agua y puede tener diversos impactos en el medio ambiente. Estos sólidos pueden provenir de diferentes fuentes, como la actividad industrial, la agricultura, los residuos domésticos y otros procesos humanos (Beleño, J. Coll, J. De la Hoz, A. Donado, J. Reyes, G. Castellar y C. Díaz, 2022).

## **2.8.2 Componentes químicos**

### **2.8.2.1 Potencial de hidrogeno (pH)**

La concentración de iones o cationes de hidrógeno en el agua, conocida como pH, constituye un parámetro crucial para evaluar la calidad del agua, tanto en entornos naturales como en aguas residuales. La determinación del pH en el agua proporciona una



medida de la tendencia hacia la acidez o alcalinidad. Un valor inferior a 7.0 indica una inclinación hacia la acidez, mientras que un valor superior sugiere una tendencia hacia la alcalinidad (Ramirez Rodriguez, J. C 2023).

#### **2.8.2.2 Aceites y grasas**

Estos compuestos pueden ser difíciles de eliminar del agua residual debido a su baja solubilidad en agua. Los aceites y grasas pueden causar problemas en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, como la obstrucción de tuberías y la reducción de la eficiencia del tratamiento biológico. Además, los aceites y grasas pueden ser tóxicos para la vida acuática y pueden tener efectos negativos en el medio ambiente (Ramirez Rodriguez, J. C,2023).

#### **2.8.2.3 Oxígeno disuelto (OD)**

La presencia de oxígeno disuelto en el agua es esencial para la respiración de microorganismos aerobios y otras formas de vida. En el caso de aguas residuales, su existencia es beneficiosa, ya que contribuye a la reducción o eliminación de malos olores, además de facilitar y acelerar la digestión aerobia en caso de optar por este tipo de tratamiento (Ramírez Rodríguez, J. C 2023).

#### **2.8.2.4 Demanda química de oxígeno (DQO)**

La cuantificación de la Demanda Química de Oxígeno se realiza para estimar la cantidad de oxígeno consumido por la materia orgánica susceptible de oxidación química, utilizando dicromato de potasio como agente fuertemente oxidante en un medio ácido y a elevada temperatura (Ramírez Rodríguez, J. C 2023).

#### **2.8.2.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es uno del parámetro más utilizado para determinar la contaminación orgánica en aguas residuales y superficiales. La DBO se

define como la cantidad de oxígeno disuelto necesaria para que los microorganismos oxiden (estabilicen) la materia orgánica biodegradable (Ramírez Rodríguez, J. C 2023).

#### **2.8.2.6 Tensoactivos**

Los tensoactivos, también conocidos como surfactantes, son compuestos químicos que tienen la capacidad de reducir la tensión superficial entre dos sustancias, como el agua y el aceite. Estos compuestos son anfifílicos, lo que significa que tienen una parte hidrofílica (afinidad por el agua) y una parte lipofílica (afinidad por los lípidos o grasas) (Beleño, J. Coll, J. De la Hoz, A. Donado, J. Reyes, G. Castellar y C. Díaz, 2022).

### **2.9 Planta de tratamiento para las industrias**

Las plantas deben adaptarse a diferentes industrias y tipos de agua. Las aguas residuales industriales varían según la industria y sus procesos. Es esencial caracterizarlas para un tratamiento efectivo (Telwesa, 2021).

### **2.10 Marco legal**

La legislación ambiental de Ecuador impone directrices que las empresas deben acatar para el tratamiento óptimo de sus efluentes antes de su liberación. Estas regulaciones, enfocadas en la gestión de aguas residuales industriales, buscan minimizar los efectos adversos de las operaciones industriales en los recursos hídricos, garantizando que los vertidos al sistema de alcantarillado satisfacen criterios de calidad. Este marco legal se basará en las normativas pertinentes.

#### ***Código Orgánico del Ambiente***

En el Código Orgánico del Ambiente del año 2018 instituye:

Art. 196.- “Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deben tener infraestructura para el tratamiento de aguas residuales y promover su reutilización segura.

Si no pueden conectarse al alcantarillado, el tratamiento debe ser tal que no dañe el medio ambiente. Todas las obras deben ser aprobadas por las autoridades competentes”.

***Ley orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamientos del Agua***

Art. 38.- “La Autoridad Unica del Agua no permitirá el uso de aguas residuales que interfieran con proyectos de saneamiento público o incumplan las normas. Esta prohibición se aplica especialmente cuando los parámetros de la normativa no se cumplen para cada uso”.

Art. 80.- “Los vertidos son descargas de aguas residuales en el dominio hídrico público, y su vertido sin tratamiento está prohibido. La Autoridad Ambiental Nacional controla los vertidos con otras entidades. Los gobiernos autónomos municipales deben tratar las aguas servidas y desechos sólidos para evitar la contaminación”.

***El Acuerdo Ministerial 097-A, junto con sus Anexos de Normativa, representa una reforma significativa al Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente***

Este acuerdo introduce el Anexo 1, que establece la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. Esta norma define los criterios generales para la descarga de efluentes, es decir, los límites y condiciones bajo los cuales se pueden liberar residuos líquidos al agua. En particular, se hace referencia a la Tabla 8, que establece los límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

***LIBRO VI ANEXO 1 286 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA***

**4.1.9 Criterios de calidad para aguas de uso industrial**

El uso industrial del agua incluye procesos de transformación, generación de energía y minería. Se deben cumplir los requisitos de calidad y aplicar tecnología limpia para reducir o eliminar residuos en todos los procesos.

**5.2.3 Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado**

5.2.3.1 En una industria, los sistemas de drenaje para aguas domésticas y pluviales deben estar separados en sus propios colectores.

5.2.3.2 Está prohibido verter residuos líquidos no tratados al alcantarillado, originados por la limpieza de vehículos o equipos de aplicación. Esto incluye recipientes que contengan o hayan contenido sustancias tóxicas como agroquímicos.

5.2.3.4 La Autoridad Ambiental puede imponer límites más estrictos de descarga a los regulados si afectan la planta, aunque cumplan con las normas, tras estudios técnicos de la Entidad Prestadora de Servicio.

***NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2176:2013 Primera revisión AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO***

**4.3 Muestras periódicas**

Se toman muestras periódicas en intervalos fijos utilizando un mecanismo cronometrado para recolectar agua durante un tiempo específico. El procedimiento típico implica bombear la muestra en recipientes con volúmenes predeterminados.

**4.8 Tipos de muestreo**

4.8.1 Existen distintas situaciones de muestreo, algunas pueden ser abordadas con una sola muestra puntual, mientras que otras necesitan equipos de muestreo más avanzados.

***NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2169:2013 Primera revisión AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS***

4.1 Muestreo

4.1.6 Recepción de las muestras en el laboratorio

4.1.6.1 Tras llegar al laboratorio, las muestras deben conservarse adecuadamente para evitar contaminación externa y cambios en su contenido si no se analizan de inmediato.

4.1.6.2 Para este fin, es aconsejable emplear refrigeradores o espacios frescos y oscuros.

***Guía para ejecución de monitoreos de aguas residuales industriales***

Para la evaluación utilizaremos la guía de monitoreos y caracterización de las descargas de agua residuales en el cantón Guayaquil para evaluar su tratabilidad estipulado por la alcaldía ciudadana de Guayaquil donde utilizaremos los parámetros de control y seguimiento considerando la ubicación geográfica de la empresa y su punto de descarga, dicho esto se tomó en cuenta los siguientes parámetros eficaces a muestrear en la empresa industrial de metalurgia descritas en cierta guía; Caudal, DQO, DBO, SST, ST, Aceites & Grasas, pH, Tensoactivos, Cadmio (Cd), Arsénico total (As), Aluminio (Al), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro Total (Fe), Cromo hexavalente, Plomo (Pb), Níquel (Ni), Mercurio (Hg), Cadmio (Cd).

Estos parámetros proporcionan una visión completa de la calidad del agua residual y son esenciales para diseñar un tratamiento efectivo que cumpla con los estándares ambientales y de descarga.

## **CAPÍTULO III**

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Tipo de investigación**

El estudio de la calidad del agua a realizarse será de tipo experimental y se desarrollará en una industria metalmeccánica en la sección de decapado ubicada en el Km. 7.5 vía Daule, cantón Guayaquil, provincia del Guayas. Para la evaluación y comparación de los resultados obtenidos de las muestras de agua residual industrial utilizaremos la normativa ambiental vigente considerando la ubicación geográfica de la empresa y su punto de descarga. En este caso, el Acuerdo Ministerial 097 A del Libro VI del TULSMA, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público. Para recopilar la información se llevarán a cabo visitas técnicas en las instalaciones de la empresa, donde se recolectarán las muestras correspondientes de la cisterna donde almacenan el agua residual de sus procesos hasta la descarga al sistema de alcantarillado. Las mismas que se someterán evaluación en el laboratorio de química de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil del Campus María Auxiliadora.

#### **3.2 Reconocimiento de la unidad de análisis**

En el marco de nuestro estudio, se hace imperativo desglosar y analizar minuciosamente los elementos esenciales que constituyen nuestro objeto de investigación. La unidad de análisis seleccionada para este propósito es el agua residual industrial de un proceso de fosfatado en una empresa metalmeccánica. Con el fin de obtener una visión completa y detallada, hemos identificado una serie de parámetros cruciales que serán sometidos a escrutinio. La tabla adjunta proporciona una organización

sistemática de estos parámetros, la unidad de medida correspondiente y el método específico que será aplicado para su evaluación

**Tabla 1 Determinación de parámetros y sus métodos**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Métodos</b>
DBO	mg/l	Hach DBO Track 5210 B, Método DBO 5 días
DQO	mg/l	S.M 5220-D Reflujo cerrado, método colorimétrico
Solidos Suspendidos Totales	mg/l	2540-D SST secados a 103-105°C
Solidos Totales	mg/l	2540 B Sólidos totales
Aceites y Grasas	mg/l	5520-D Método extracción Soxhlet
pH		4500-H+B Método electrométrico
Aluminio	mg/l	8012 HACH Método Aluminon
Cadmio	mg/l	8017 HACH, Método ditizona
Cinc	mg/l	8099 HACH Método Zincon
Níquel	mg/l	8150 HACH 1-(2 Piridilazo)-2- Naftol (PAN)
Plomo	mg/l	1.14833.0001 Spectroquant Merk
Cobre	mg/l	HACH 8506 Método Bicinchoninate
Cromo VI	mg/l	8023 HACH 1.5 Difenilcarbohidrazida
Hierro Total	mg/l	8008 HACH Método Ferro Ver

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

Las muestras se recolectaron en los meses de noviembre, diciembre del año 2023 y enero, febrero del año 2024, teniendo en cuenta las normas técnicas del INEN 2176 y 2169 para que nuestro margen de error sea mínimo.



### 3.2.1 Método de análisis de los resultados de la determinación de parámetros

**Tabla 2** Modelo de tabla para registro de Resultados de análisis del agua residual industrial sometida a precipitación química más filtración.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados	U (k=2) incert.	Límites Máximos Permisibles <sup>(2)</sup>	Método
			A			
Potencial de Hidrogeno.	pH			± 0.07	6-sep	4500-H*B PEE/UCC/LA/03
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O. <sub>5</sub>	mg/l		-	250	5210B PEE/UCC/LA/11
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l		-	500	5220D PEE/UCC/LA/04
Aceites y grasas.	Soluble hexano	mg/l		-	70	Infrarrojo
Sólidos suspendidos	-	mg/l		-	220	2541 D PEE/UCC/LA/05
Sólidos totales	-	mg/l		± 79		2541 B PEE/UCC/LA/07
Aluminio	Al	mg/l		-	5.0	8012 HACH
Cobre	Cu	mg/l		-	1.0	8506 HACH
Cromo VI	Cr+7	mg/l		-	0.5	8023 HACH
Hierro	Fe	mg/l		-	25	8008 HACH
Níquel	Ni	mg/l			2.0	8150 HACH
Cadmio	Cd	mg/l		-	0.02	TNT 252 HACH
Plomo	Pb	mg/l		-	0.5	114833,0001 Spectroquant
Cinc	Zn	mg/l		-	10	8099 HACH

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

Para la comparación de los resultados entre sí de los análisis realizados se tomará en cuenta la siguiente tabla.

**Tabla 3** Modelo de tabla para la comparación de resultados de los análisis del agua residual industrial cruda y sometidas a tratabilidad.

<b>Parámetros</b>	<b>Resultados del agua residual cruda</b>	<b>Resultados del agua residual tratada por precipitación química</b>	<b>Resultados del agua residual tratada por precipitación química + filtración</b>
Potencial de Hidrogeno.			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)			
Demanda Química de Oxígeno			
Aceites y grasas.			
Sólidos suspendidos			
Sólidos totales			
Aluminio			
Cobre			
Cromo VI			
Hierro			
Niquel			
Cadmio			
Plomo			
Cinc			

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

### **3.3 Fases de la tratabilidad del agua residual**

#### **3.3.1 Recolección de la muestra**

Se establece la primera visita técnica a la planta para la recolección de las muestras el 22 de enero del 2024 con la finalidad de hacer la toma de muestra puntual del agua cruda a examinar para su tratabilidad.

Para la recolección de la muestra de agua residual de la industria metalmecánica se utilizarán los siguientes instrumentos

**Tabla 4** Materiales para la recolección de muestras in situ

<b>Instrumentos</b>	<b>Utilidad</b>
GPS	Toma de coordenadas de la ubicación
Agua destilada	Esterilizar los instrumentos
Etiquetas	Etiquetar las muestras con los datos de reactivos
Guantes quirúrgicos	Manipuleo de muestras
Botellones	Almacenaje
Ph metro portátil pH Test® 50S OAKTON	Medición de pH, Temperatura y conductividad Eléctrica

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

### ***3.3.2 Preparación para la toma de muestra inicial***

Para llevar a cabo de manera segura y eficiente las actividades relacionadas con el proceso experimental, fue esencial que todo el personal involucrado en la toma de la muestra tuviera el equipo de protección personal adecuado. Esto implica el uso de guantes, mascarillas y botas. El uso de este equipo de protección personal ayuda a prevenir lesiones, minimizar la exposición a sustancias nocivas y promover un ambiente de trabajo seguro y saludable para todos los participantes.

Durante la recolección, se tomaron medidas para garantizar la representatividad de las muestras, considerando factores como la ubicación, el tiempo y el caudal del agua residual. Este enfoque riguroso aseguró que las muestras obtenidas sean adecuadas para su análisis posterior, proporcionando datos confiables y significativos para la evaluación de la calidad del agua residual en el contexto de la industria metalmeccánica.

### ***3.3.3 Determinación del caudal***

En la cisterna cercana al proceso de fosfatado se realizará la toma del caudal por medio del método de aforo volumétrico debido a que por medio de un conducto se realiza la descarga del agua residual en la cisterna, logrando medir así el tiempo en el que demora su llenado mediante un cronómetro.

La ecuación que se utilizó para la determinación del valor del caudal fue:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/s).

V= Volumen (m<sup>3</sup>) donde se almacena el agua residual industrial.

T= Tiempo promedio de llenado en segundos u horas.

Se debe tomar en cuenta que las dos bañeras de enjuague del proceso de fosfatado tienen la capacidad de almacenar 2 litros de agua cada una, las mismas que dos veces por semana al finalizar la jornada laboral cuando se vacían y abastecen la cisterna del área.

### ***3.3.4 Caracterización de la muestra de agua In Situ***

Para determinar la caracterización del agua residual industrial cruda se hizo la toma de la temperatura y pH mediante el dispositivo pH test 50S-OAKTON. Se evaluó en ese mismo momento si presentaba olor, color y partículas irregulares de la muestra mientras se la recolectaba en los envases predestinados para su almacenamiento datos que fueron registrados en la siguiente tabla.

**Tabla 1** Registro de datos de la muestra in situ del agua residual industrial.

<b>Registro de datos de la muestra in situ del agua residual industrial</b>											
<b>Fecha</b>	<b>Punto de muestra</b>	<b>Características organolépticas</b>						<b>Parámetros</b>		<b>Responsable</b>	<b>Observaciones</b>
		<b>Presenta color</b>		<b>Presenta olor</b>		<b>Se observan partículas extrañas</b>		<b>Potencial de Hidrógeno</b>	<b>Temperatura</b>		
		<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>				

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

En la presente tabla se registraron los valores resultantes por medio de la observación del agua residual industrial almacenada en la cisterna.

### **3.4 Análisis de las muestras**

#### ***3.4.1 Análisis preliminar***

La medición del pH de las muestras se llevó a cabo mediante el equipo pH test 50S-OAKTON. Además de esta evaluación, se procedió a realizar un análisis visual exhaustivo para identificar características destacadas del agua en cuestión. Este examen visual abarcó aspectos como el color, la turbidez y la eventual presencia de sólidos en suspensión. Este enfoque integral permitió obtener una comprensión más completa de las propiedades fisicoquímicas de las muestras, facilitando así la interpretación de los resultados y el análisis subsiguiente.

#### ***3.4.2 Análisis físicos, químicos y biológicos de la muestra de agua residual industrial***

Una vez completado el proceso de recolección y registro de datos, se procedió a entregar la muestra al laboratorio de Aguas Petróleo y medio ambiente de la Universidad de Guayaquil. La entrega de la muestra al laboratorio especializado garantiza que se realicen los análisis pertinentes con precisión y rigurosidad, siguiendo los estándares y protocolos establecidos. Este paso es crucial para la obtención de resultados confiables y la generación de conclusiones sólidas en el contexto del estudio científico. En este serán analizados los siguientes parámetros del agua residual industrial tanto cruda y una vez tratada, siendo estos: La Prueba de potencial de hidrógeno y caudal se realizaron in situ, las pruebas de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Aceites y grasas, Sólidos suspendidos, Sólidos totales, Aluminio, Cobre, Cromo VI, Hierro, Níquel, Cadmio, Plomo y Cinc.

### **3.5 Precipitación química por TEST DE JARRA**

Se recolectó una muestra de 50 litros representativa del agua residual de la industria metalmecánica. Esta muestra será utilizada para evaluar la calidad del agua y determinar la eficacia de posibles tratamientos.

Para el siguiente proceso se debe tener en claro que existen dos tipos de partículas presentes en el agua, las disueltas y las no disueltas que se subdividen en partículas discretas y partículas coloidales.

Las partículas coloidales son las que requieren nuestra especial atención en esta experimentación pues serán las protagonistas en el proceso de coagulación-floculación.

Debemos tomar en cuenta los tiempos de sedimentación expuestos en la siguiente tabla

**Tabla 2** Tiempo de sedimentación en 30 centímetros de agua según su diámetro con densidad específica de 2,65.

<b>Diámetro de la partícula (mm)</b>	<b>Escala de tamaños</b>	<b>Área superficial total</b>	<b>Tiempo requerido para sedimentar</b>
10	Grava	3,15 cm <sup>2</sup>	0,3 s
1	Arena gruesa	31,50 cm <sup>2</sup>	3,0 m/s
0,1	Arena fina	315,00 cm <sup>2</sup>	38,0 s
0,01	Sedimento	3.150,00 cm <sup>2</sup>	33,0 min
0,001	Bacteria	3,15 m <sup>2</sup>	55,0 horas
0,0001	Partícula coloidal	31,50 m <sup>2</sup>	230,0 días
0,00001	Partícula coloidal	0,283 ha	6,3 años
0,000001	Partícula coloidal	2,83 ha	63,0 años

**Fuente:** Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (Cepis)

Al tener partículas pequeñas en nuestra agua residual industrial las removimos del agua en primer indicio juntando varias partículas pequeñas de manera que se hicieran partículas más grandes y así el tiempo de sedimentación fuera más rápido.

Existe la necesidad de formar los flocs puesto que evitamos extensos tiempos de espera para la remoción de diversas partículas. Aumentando el diámetro es como podemos acelerar

este proceso de sedimentación; sin embargo, la coagulación no es el único proceso necesario para lograr este objetivo

### ***3.5.1 ¿Cómo formamos los Floccs?***

**El primer paso** fue eliminar las fuerzas de repulsión que evitaban la unión entre estas partículas; esto es, desestabilizar las partículas coloidales mediante el uso de coagulantes.

Los parámetros que pueden afectar la coagulación son las dosis óptimas (mg/l), pH óptimo, alcalinidad, concentración de coagulante, temperatura y concentración de coloides.

Los tipos de coagulantes que podemos utilizar son Sulfato de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico, cloro-sulfato férrico, policloruro de aluminio, entre otros.

**El segundo paso** fue juntar los coloides desestabilizados para formar partículas de mayor tamaño y así acelerar la sedimentación mediante la floculación.

Los parámetros que influyen en la floculación son: el gradiente de la velocidad, el tiempo de agitación, variación del gradiente de velocidad y la temperatura.

Debemos cumplir con un floculante en su dosis óptima y un agitador

### ***3.5.2 Gradiente de velocidad***

La formación de flóculos se da por el conjunto de coloides, esto lo logramos al verter nuestro coagulante y floculante en una muestra y agitarla bastante rápido para la unión de los coloides y a medida que van creciendo nuestros floccs se vuelven frágiles a la ruptura a un gradiente de agitación alto, por ello, al inicio decidimos utilizar una velocidad alta por un minuto para después bajar la velocidad a una más baja por treinta minutos y así no romper los flóculos ya formados, pero que siga actuando la función de agrandar los floccs para su sedimentación.

### ***3.5.3 ¿Cómo se dosificó?***

Como se sabe no existe ninguna fórmula que nos indique a exactitud cuanto dosificar; sin embargo, esto podemos averiguarlo haciendo el test de jarras.



Las pruebas de jarras implican el mantener todo constante excepto las variables a analizar, en estas pruebas el parámetro que nos indicó una mejora fue la turbidez.

Las variables para analizar son:

pH óptimo

Dosis óptima

Concentración óptima

**Figura 1.** Diagrama de dosificación óptima



Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

Se ha elaborado el siguiente diagrama que detalla los parámetros y unidades sujetos a examen, con el propósito de comprender las variables que serán modificadas en el transcurso de nuestras pruebas de jarras. En dichos ensayos, hemos introducido variaciones exclusivamente en el valor de pH, con la intención de alcanzar un pH óptimo que facilite una dosificación efectiva de coagulante-floculante para la formación de flóculos. En todas las jarras utilizadas durante el experimento, se empleó una concentración constante de 800 ml de agua residual industrial. Es crucial señalar que la medición de la turbidez en cada jarra fue considerada cuidadosamente para seleccionar el resultado más favorable en términos de menor tiempo y dosis reducida de reactivos.

#### ***3.5.4 ¿Cómo saber cuánto agitar?***

Existen dos tipos de agitación que influyen tanto en la mezcla de los compuestos químicos en el agua como en la formación de flóculos.

Estos movimientos son la mezcla rápida y la mezcla lenta respectivamente.

Los movimientos considerados fueron:

Mezcla rápida: 300 RPM por 1 minuto (para verter los insumos químicos al agua y se repartan homogéneamente en el agua)

Mezcla lenta: 40 RPM por 30 minutos (para empezar a formar flocs)

#### ***3.5.5 Pruebas de tratamiento preliminar***

Se procedió a realizar pruebas experimentales de coagulación-floculación y sedimentación con el propósito de evaluar minuciosamente la eficacia de estos procesos. Durante estas pruebas, se llevó a cabo un análisis detallado de los cambios en los parámetros fisicoquímicos del agua residual tras cada etapa de tratamiento. Este enfoque experimental permitió examinar de manera precisa cómo los agentes coagulantes y floculantes interactúan con las impurezas presentes en el efluente, facilitando la formación de flóculos que pueden ser fácilmente sedimentados. La evaluación sistemática de los cambios en los parámetros fisicoquímicos antes

y después de cada tratamiento proporcionó información crucial sobre la eficacia y la optimización de estos procesos de tratamiento de agua residual.

### **3.6 Filtración por carbón activado**

Posterior a la precipitación química nuestra agua clarificada fue filtrada por medio de cuatro filtros de carbón activado con la finalidad de retener por medio de la absorción los sólidos suspendidos, sólidos totales, iones de metales pesados, colorantes, olores ofensivos y otros productos químicos nocivos para la salud.

Mediante la presente metodología nuestra agua residual industrial se refleja totalmente tratada lista tanto como para su rehúso en el proceso necesario de la industria como también para direccionarse hacia el sistema de alcantarillado cumpliendo los límites máximos permisibles estipulados por la ley ambiental ecuatoriana.

### **3.7 Planta de tratabilidad de agua residual industrial de metalmecánica**

La instalación de tratamiento, diseñada específicamente para abordar las aguas residuales industriales generadas en el proceso de decapado del área de enjuague de la empresa metalmecánica en estudio, se compone de tres fases: primaria, secundaria y terciaria.

En la etapa primaria, se lleva a cabo el proceso de precipitación química. En este proceso, se ajusta el pH del agua almacenada mediante la adición de cal, y se introduce el coagulante sulfato de aluminio. Esto facilita la formación de flóculos a través de la floculación, seguido por la sedimentación de lodos.

La fase secundaria implica que el agua clarificada se canalice a través de tuberías hacia cuatro filtros de carbón activado. Simultáneamente, los sedimentos se dirigen a un depósito de lodos antes de ser redirigidos a una piscina de lodos.

En el tratamiento terciario, el agua tratada fluye a través de una tubería desde los filtros de carbón activado hasta un área de almacenamiento designada. Desde aquí, puede ser redirigida de nuevo al proceso industrial de la empresa o al sistema de alcantarillado según sea necesario.

Este enfoque integral asegura un manejo eficiente y completo de las aguas residuales industriales, cumpliendo con los estándares y regulaciones ambientales pertinentes.

### 3.8 Determinación de los rubros de materiales y equipos

Con el propósito de determinar los ítems correspondientes al financiamiento de la planta de tratamiento, se llevaron a cabo procesos de cotización y se elaboró un listado detallado de los equipos, materiales, terreno, obras civiles, maquinaria, mobiliarios, equipos, materiales directos, mano de obra directa, costos directos de producción, costos indirectos de producción, costos totales de producción, gastos generales, capital de trabajo, clasificación de los costos necesarios para la ejecución de la propuesta. La información resultante se presentará por separado de manera organizada en tablas semejantes a la siguiente.

**Tabla 3** Rubros, cantidad y descripción

<b>Descripción</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor total</b>
<b>Total</b>			

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

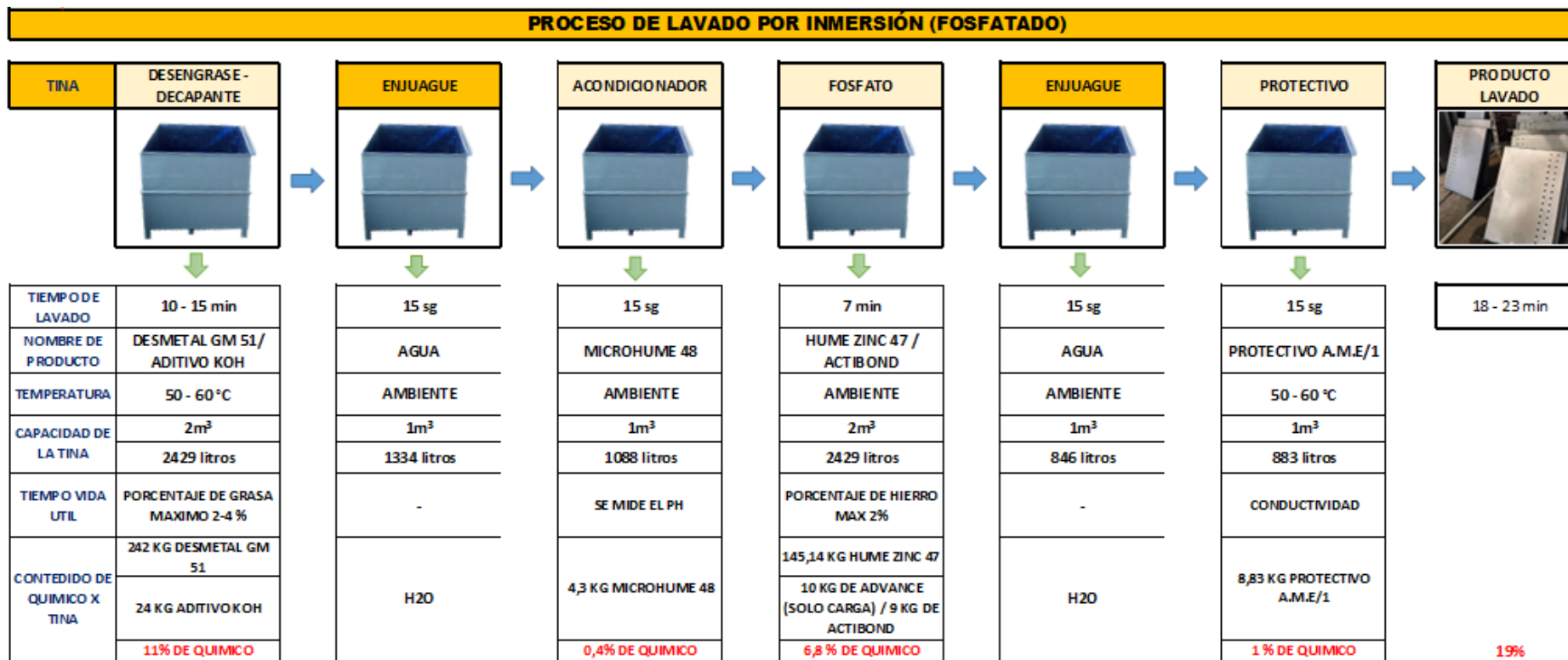
## **CAPÍTULO IV**

### **4. Resultados**

#### **4.1 Descripción del proceso que genera el agua residual industrial**

Para llevar a cabo la identificación del sitio donde se realizarán los análisis, procedimos a dirigirnos a las instalaciones de la compañía, contando con la autorización correspondiente emitida por la administradora de la industria. Esta autoridad nos orientó hacia la zona del proceso de decapado, donde planchas metálicas pasan por tinas de sustancias diversas como desengrasante, ácido clorhídrico, ácido fosfórico, entre otros expuestos en la Figura No. 1 para posterior del ingreso en cada químico introducir las piezas en bañeras de enjuague con agua, con la finalidad de eliminar los residuos de las sustancias químicas de las planchas metálicas. Por ende, se generan aguas residuales contaminadas contribuyendo a la toxicidad del agua residual, la cual es almacenada en la cisterna del área hasta descargarse hacia el gestor de aguas residuales industriales, en virtud de la ausencia de tratamiento.

Figura No. 2 Proceso de Lavado por inmersión



Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

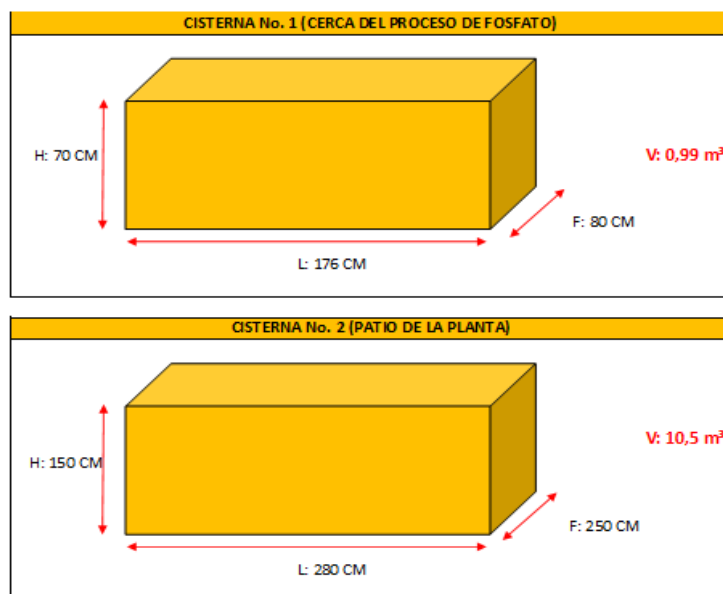
En el lavado por inmersión de las planchas metálicas de la presente industria podemos identificar que la finalidad del proceso de decapado es la eliminación controlada de óxidos, escamas y otros contaminantes superficiales de materiales metálicos, especialmente de acero. Este procedimiento

se lleva a cabo mediante la inmersión del material en diferentes soluciones entre ellas una solución ácida, generalmente ácido clorhídrico o ácido sulfúrico, con el objetivo de disolver y remover las impurezas presentes en la superficie del metal. En este proceso podemos observar dos bañeras de enjuague, donde se destina a las mismas lavar los objetos de los químicos anteriores, en estas bañeras de enjuague se pueden almacenar dos litros de agua las cuales son descargadas y cargadas nuevamente dos veces por semana; el agua residual saliente se almacena en una cisterna principal cerca del proceso de fosfatado para posterior a llenarse verterse por medio de una tubería hasta una segunda cisterna ubicada en el patio de la planta mucho más cerca de un portón que da al exterior de la empresa donde esta agua residual industrial se la mantiene hasta entregarla al gestor ambiental debido a la falta de tratabilidad de la misma, pero al ser tratada podría dirigirse directamente al sistema de alcantarillado.

#### 4.2 Características de la unidad de almacenamiento del agua residual industrial

Para la determinación del caudal, se realizó la medida de las cisternas como podemos observar en la siguiente figura.

**Figura No. 3** Dimensiones de cisterna para el almacenaje de aguas residuales del proceso de fosfatado



Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

Las unidades expuestas almacenan el agua residual industrial del proceso de fosfatado de la empresa.

### 4.3 Toma de muestra del área de muestreo In situ

Se efectuaron inspecciones en las instalaciones de la industria metalmeccánica con el propósito de recolectar datos in situ, los cuales están detallados en la tabla adjunta.

**Tabla 4** Registro de datos de la muestra in situ del agua residual industrial.

Registro de datos de la muestra in situ del agua residual industrial										
Fecha	Punto de muestro	Características organolépticas						Parámetros		Responsable
		Presenta color		Presenta olor		Se observan partículas extrañas		Potencial de Hidrógeno	Temperatura	
		Si	No	Si	No	Si	No			
14/11/23	Cisterna No.1	x		x		x		6,18	15,8°C	Yesenia Chacón
12/12/23	Cisterna No.1	x		x		x		6,24	15,2°C	Yesenia Chacón
22/01/24	Cisterna No.1	x		x		x		6,37	14,7°C	Yesenia Chacón
02/02/24	Cisterna No.1	x		x		x		6,46	12,6°C	Yesenia Chacón

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

Las observaciones de la cisterna No. 1 en las visitas mensuales a la planta por el periodo de 4 meses revela que el agua residual industrial almacenada en dicha instalación exhibe un tono verde, acompañado de un marcado olor a productos químicos. Así mismo, se identifican partículas en la muestra. Al llevar a cabo la medición del pH se registra que al disminuir la temperatura del agua residual el nivel de pH aumenta muy ligeramente, indicando la acidificación y contaminación evidente del agua a simple vista. Posterior al registro de los datos principales se procedía a la toma de una muestra mensual de 20 litros para llevar a cabo de



manera efectiva su análisis para identificar la calidad del agua y su tratabilidad mediante pruebas de test de jarra y filtración mediante carbón activado.

#### **4.4 Resultados de Pruebas del agua residual industrial**

El veintidós de enero del año dos mil veinticuatro se llevó la muestra puntual recolectada del agua residual industria cruda al laboratorio de Aguas, Petróleo y medio ambiente de la Universidad de Guayaquil, para su respectivo análisis de los parámetros establecidos según la guía de monitoreos y caracterización de las descargas de agua residuales del área industrial metalmecánica en el cantón Guayaquil para evaluar su tratabilidad estipulado por la alcaldía ciudadana de Guayaquil.

Primera identificación de los análisis tabulados fisicoquímico de agua residual industrial cruda:

**Tabla 5** Resultados del análisis del agua residual industrial cruda

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados	U (k=2) incert	Límites Máximos Permisibles <sup>(2)</sup>	Método
			A			
Potencial de Hidrogeno.	pH		6.70	± 0.07	6-9	4500-H <sup>+</sup> B PEE/UCC/LA/03
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O. <sub>5</sub>	mg/l	6.3	-	250	5210B PEE/UCC/LA/11
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	93	-	500	5220D PEE/UCC/LA/04
Aceites y grasas.	Soluble hexano	mg/l	3	-	70	Infrarrojo
Sólidos suspendidos	-	mg/l	20	-	220	2541 D PEE/UCC/LA/05
Sólidos totales	-	mg/l	785	± 79		2541 B PEE/UCC/LA/07
Aluminio	Al	mg/l	0.008	-	5.0	8012 HACH
Cobre	Cu	mg/l	0.07	-	1.0	8506 HACH
Cromo VI	Cr+7	mg/l	No detectable	-	0.5	8023 HACH
Hierro	Fe	mg/l	15	-	25	8008 HACH
Niquel	Ni	mg/l	0.04		2.0	8150 HACH
Cadmio	Cd	mg/l	No detectable	-	0.02	TNT 252 HACH
Plomo	Pb	mg/l	0.30	-	0.5	114833,0001 Spectroquant
Cinc	Zn	mg/l	19	-	10	8099 HACH

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

Se evidencia que el efluente industrial excede en un parámetro los límites máximos permitidos según lo establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A del Libro VI TULSMA, especificados en la tabla 8 para su vertido en el sistema de alcantarillado público. Este nivel de contaminación es aún menos aceptable para considerar su reutilización en el proceso industrial designado por la empresa sin previa tratabilidad.

Segunda identificación de los análisis tabulados fisicoquímico de agua residual industrial tratada por el proceso de precipitación química:

**Tabla 6** Resultados del análisis del agua residual industrial sometida a precipitación química

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados	U (k=2) incert	Límites Máximos Permisibles <sup>(2)</sup>	Método
			A			
Potencial de Hidrogeno.	pH		8.26	± 0.07	6-9	4500-H <sup>+</sup> B PEE/UCC/LA/03
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O. <sub>5</sub>	mg/l	3.9	-	250	5210B PEE/UCC/LA/11
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	58	-	500	5220D PEE/UCC/LA/04
Aceites y grasas.	Soluble hexano	mg/l	0.4	-	70	Infrarrojo
Sólidos suspendidos	-	mg/l	13	-	220	2541 D PEE/UCC/LA/05
Sólidos totales	-	mg/l	740	± 79		2541 B PEE/UCC/LA/07
Aluminio	Al	mg/l	No detectable	-	5.0	8012 HACH
Cobre	Cu	mg/l	No detectable	-	1.0	8506 HACH
Cromo VI	Cr+7	mg/l	No detectable	-	0.5	8023 HACH
Hierro	Fe	mg/l	0.8	-	25	8008 HACH
Niquel	Ni	mg/l	No detectable		2.0	8150 HACH
Cadmio	Cd	mg/l	No detectable	-	0.02	TNT 252 HACH
Plomo	Pb	mg/l	No detectable	-	0.5	114833,0001 Spectroquant
Cinc	Zn	mg/l	1.6	-	10	8099 HACH

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología de precipitación química exhiben un desempeño destacado, ya que se evidencia claramente que cumplimos de manera efectiva con los límites máximos permisibles para la descarga en el sistema de alcantarillado público. Este enfoque de tratamiento no solo demuestra eficacia, sino que resalta la capacidad de nuestra estrategia para asegurar un vertido dentro de los parámetros aceptables.

Análisis de los resultados:

A continuación, se indican algunos de los parámetros mencionados que fueron eliminados o reducidos mediante precipitación química:

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) y Demanda Química de Oxígeno:**

La precipitación química ayudó a reducir la DBO y DQO al disminuir la carga orgánica en el agua.

**Aceites y grasas:**

Algunos procesos de precipitación química pueden contribuir a la eliminación de aceites y grasas, especialmente si están asociados con materia orgánica. En este caso nos ayudó a disminuir considerablemente.

**Sólidos suspendidos y Sólidos totales:**

La formación de precipitados sólidos puede atrapar partículas en suspensión y contribuir a la reducción de sólidos suspendidos y totales en el agua que sucedió en nuestro caso.

**Aluminio, Cobre, Cromo VI, Hierro, Níquel, Cadmio, Plomo y Cinc:**

La precipitación química se utiliza a menudo para eliminar metales pesados. Se agregan reactivos que forman compuestos insolubles con estos metales, permitiendo su eliminación a través de la formación de precipitados. En nuestras Pruebas de jarra fueron eliminados todos menos el Hierro y Cinc quienes si bajaron considerablemente en este nuevo análisis.

Es importante tener en cuenta que la eficacia de la precipitación química puede depender de la naturaleza específica de los contaminantes, las condiciones del agua, la concentración inicial

de los contaminantes y la elección de los reactivos utilizados. Además, la precipitación química puede afectar el pH del agua, por lo que puede ser necesario ajustar el pH después del proceso.

Tercera identificación de los análisis tabulados fisicoquímico de agua residual industrial  
Tratada por el proceso de precipitación química y filtración:

**Tabla 7** Resultados del análisis del agua residual industrial sometida a precipitación química más filtración

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados	U (k=2) incert	Límites Máximos Permisibles <sup>(2)</sup>	Método
			A			
Potencial de Hidrogeno.	pH		8.18	± 0.07	6-9	4500-H <sup>+</sup> B PEE/UCC/LA/03
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O. <sub>5</sub>	mg/l	1.2	-	250	5210B PEE/UCC/LA/11
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	6	-	500	5220D PEE/UCC/LA/04
Aceites y grasas.	Soluble hexano	mg/l	No detectable	-	70	Infrarrojo
Sólidos suspendidos	-	mg/l	8	-	220	2541 D PEE/UCC/LA/05
Sólidos totales	-	mg/l	240	± 79		2541 B PEE/UCC/LA/07
Aluminio	Al	mg/l	No detectable	-	5.0	8012 HACH
Cobre	Cu	mg/l	No detectable	-	1.0	8506 HACH
Cromo VI	Cr+7	mg/l	No detectable	-	0.5	8023 HACH
Hierro	Fe	mg/l	No detectable	-	25	8008 HACH
Niquel	Ni	mg/l	No detectable		2.0	8150 HACH
Cadmio	Cd	mg/l	No detectable	-	0.02	TNT 252 HACH
Plomo	Pb	mg/l	No detectable	-	0.5	114833,0001 Spectroquant
Cinc	Zn	mg/l	No detectable	-	10	8099 HACH

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

La filtración es un proceso eficiente para eliminar varios contaminantes del agua, aunque su efectividad puede variar según el tipo de contaminante. Aquí se proporciona información sobre qué contaminantes de los mencionados han sido eliminados o reducidos mediante este proceso

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):**

El carbón activado puede adsorber materia orgánica, ayudando a reducir la DBO.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):**

Similar a la DBO, el carbón activado puede adsorber compuestos químicos orgánicos, contribuyendo a la reducción de la DQO.

**Aceites y grasas:**

El carbón activado puede adsorber compuestos orgánicos, incluidos aceites y grasas, ayudando a eliminarlos del agua.

**Sólidos suspendidos y Sólidos totales:**

La filtración por carbón activado puede capturar partículas suspendidas y sólidos en el agua, contribuyendo a la eliminación de sólidos. Por ello, encontramos la reducción de estas partículas en el agua.

**Aluminio, Cobre, Cromo VI, Hierro, Níquel, Cadmio, Plomo y Cinc:**

El carbón activado puede adsorber metales pesados, como los mencionados, ayudando a reducir sus concentraciones en el agua. Es por eso que se visibiliza la eliminación de los metales pesados de hierro y cinc.

***4.4.1 Análisis comparativo de resultados de las pruebas del agua residual industrial***

La presente agua residual industrial tratada puede ser reintegrada al proceso deseado por la industria según su beneficio debido a que mediante la tratabilidad a la que se expuso el agua cruda resulto efectivo para su descontaminación, como también puede ser desechada al sistema de alcantarillado al cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo

Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, REFORMA LIBRO VI DEL TULSMA, en su tabla 8 de LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO

**Tabla 1** Comparación de resultados de los análisis del agua residual industrial cruda y sometida a tratabilidad

<b>Parámetros</b>	<b>Resultados del agua residual cruda</b>	<b>Resultados del agua residual tratada por precipitación química</b>	<b>Resultados del agua residual tratada por precipitación química + filtración</b>
Potencial de Hidrogeno.	6.70	8.26	8.18
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	6.3	3.9	1.2
Demanda Química de Oxígeno	93	58	6
Aceites y grasas.	3	0.4	No detectable
Sólidos suspendidos	20	13	8
Sólidos totales	785	740	240
Aluminio	0.008	No detectable	No detectable
Cobre	0.07	No detectable	No detectable
Cromo VI	No detectable	No detectable	No detectable
Hierro	15	0.8	No detectable
Niquel	0.04	No detectable	No detectable
Cadmio	No detectable	No detectable	No detectable
Plomo	0.30	No detectable	No detectable
Cinc	19	1.6	No detectable

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

#### **4.5 Resultados y análisis de las mediciones del caudal**

Los datos obtenidos por el proceso que tiene la empresa son:

Volumen = 4000l = 4m<sup>3</sup> (semanal)

Tiempo= 35h (5 días, 7h por día)

Según la fórmula para obtener el caudal realizamos el siguiente desarrollo:

Caudal = V/t= m<sup>3</sup>/h



$$\text{Caudal} = 4\text{m}^3/35\text{h}$$

$$\text{Caudal} = 0.1143\text{m}^3/\text{h} = 0.8 \text{ m}^3/\text{d}$$

La conclusión del desarrollo realizado para calcular el caudal es la siguiente:

El caudal obtenido a partir de los datos proporcionados, donde el volumen de agua es de 4 metros cúbicos ( $\text{m}^3$ ) y el tiempo empleado es de 35 horas, se determina utilizando la fórmula del caudal, que se expresa como la relación entre el volumen y el tiempo ( $\text{Caudal} = V/t$ ). Aplicando los valores dados, el resultado del caudal es de aproximadamente 0.1143 metros cúbicos por hora ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), lo que corresponde a  $0,8 \text{ m}^3/\text{d}$ .

Esta cifra representa la tasa de flujo de agua semanal a través del proceso de la empresa. La interpretación de este resultado dependerá del contexto específico de la aplicación y los requisitos del sistema. En general, un caudal más bajo podría indicar un proceso más eficiente o la necesidad de ajustes para aumentar la productividad, según los objetivos y estándares establecidos por la empresa.

#### ***4.5.1 Análisis de la medición volumétrica de la planta de tratamiento según el caudal***

La capacidad del tanque en la planta de tratamiento es de  $2\text{m}^3$  diarios, y la acumulación semanal alcanza los  $4\text{m}^3$ , lo que se traduce en una capacidad más que suficiente para el tratamiento de aguas residuales. Este sistema permite que el proceso continúe de manera ininterrumpida, ya que la planta puede manejar eficientemente el agua residual generada durante la semana anterior. La implementación de la planta de tratamiento se basó en procesos previamente probados, los cuales demostraron resultados efectivos. Este enfoque garantiza la eficacia y confiabilidad del tratamiento de aguas residuales, asegurando un funcionamiento continuo y eficiente del sistema.

#### **4.6 Resultado del ajuste de pH en la muestra cruda de agua residual industrial**

El día 22 de enero del 2024 se tomó el pH a la muestra de 20 litros de agua residual industrial

hidrógeno fue 6,37. Para iniciar el proceso ajustaremos el pH de 8 a 8,5 nivelando este parámetro no nos afectará al agregar nuestro sulfato de aluminio en el proceso de coagulación y floculación.

Hicimos uso del reactivo Cal para nuestro ajuste de pH, por lo tanto, realizamos nuestro componente de la siguiente manera.

Utilizamos 10 g de Cal en polvo disueltos en 1000 ml de agua destilado, siendo el resultante el reactivo Cal al 1%.

En un vaso de precipitado vertimos 800 ml de agua residual industrial en el cual agregamos 8 ml de Cal al 1 %, agregamos movimiento con el fin de lograr la homogenización de nuestro reactivo con el agua residual industrial. Medimos nuevamente nuestro pH y el resultante es 8,26.

Al determinar el porcentaje óptimo de cal al 1% necesario para ajustar el pH, lo consideraremos como referencia para la cantidad restante de agua. Este valor servirá como base para llevar a cabo el ensayo de jarra y proceder con la precipitación química.

#### **4.7 Prueba de Jarra**

En la sección de resultados de nuestro estudio, se llevaron a cabo seis ensayos de jarra con el propósito de evaluar la eficacia de la precipitación química en la reducción de contaminantes presentes en muestras de agua residual industrial.

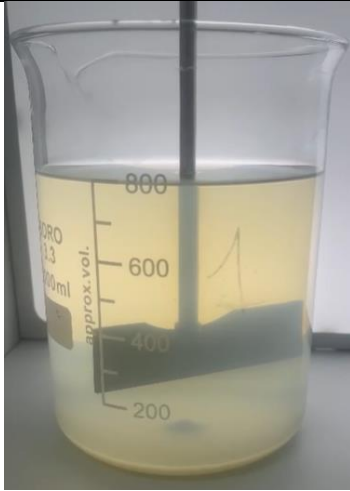
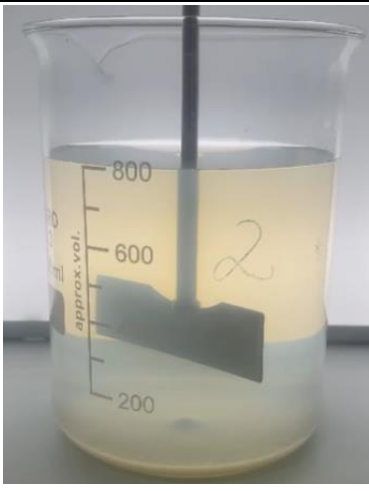
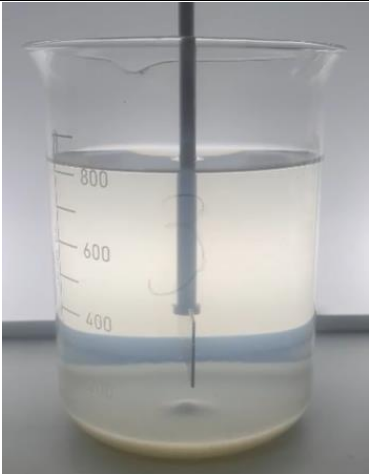
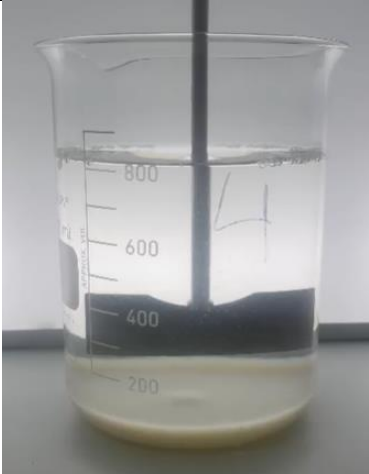
El coagulante utilizado para el proceso de precipitación química fue el sulfato de aluminio, hicimos dos reactivos diferentes para nuestras pruebas.

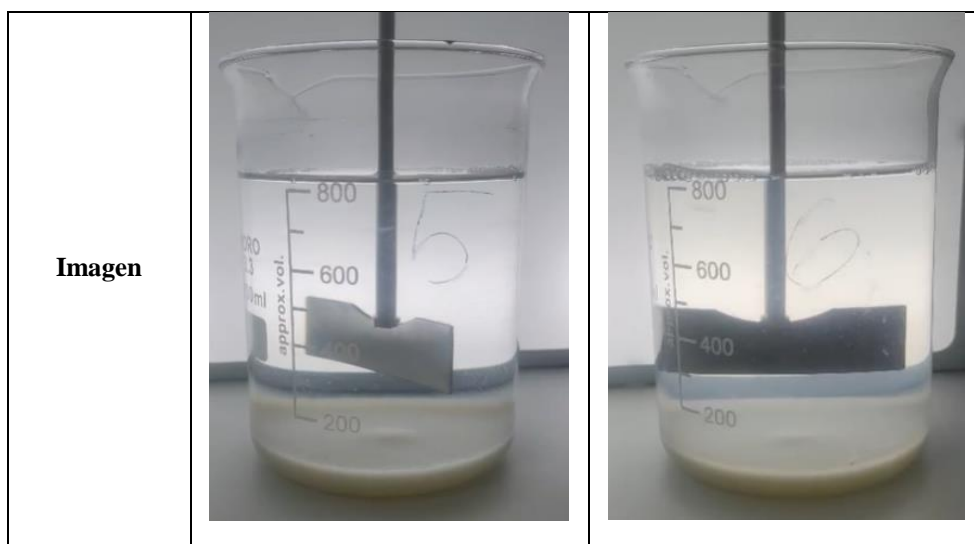
En el primer reactivo utilizamos 10 g de sulfato de aluminio en polvo diluidos en 1000 ml de agua destilada, siendo sulfato de aluminio al 1% y en el segundo reactivo hicimos uso de 10 gr de sulfato de aluminio en 100 ml de agua destilada, resultando sulfato de aluminio al 10%.

En cada vaso de precipitado para las siguientes pruebas de jarra se hará uso de 800 ml de agua residual industrial.

Las pruebas de precipitación química se dividirán por su concentración como se demuestra a continuación.

**Tabla 2** Pruebas de precipitación química con concentración de sulfato de aluminio al 1%

Volumen	5 ml	10 ml
Imagen		
Volumen	15 ml	20 ml
Imagen		
Volumen	25 ml	30 ml

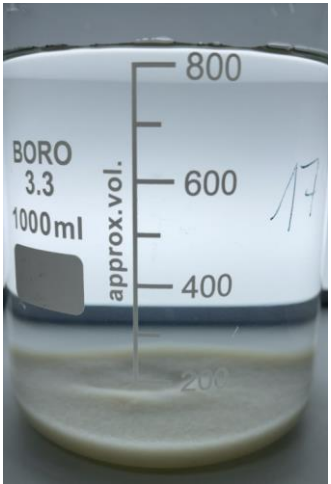



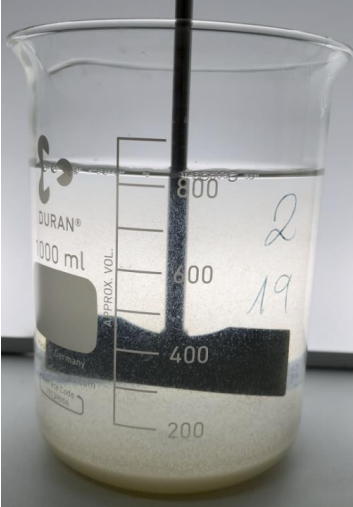
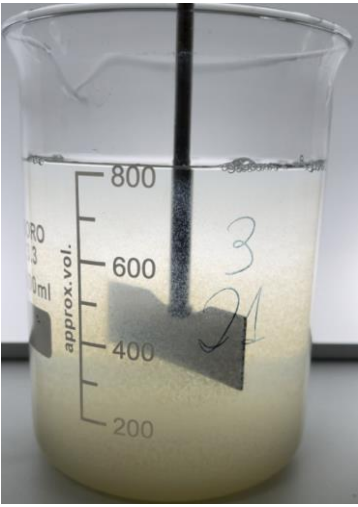
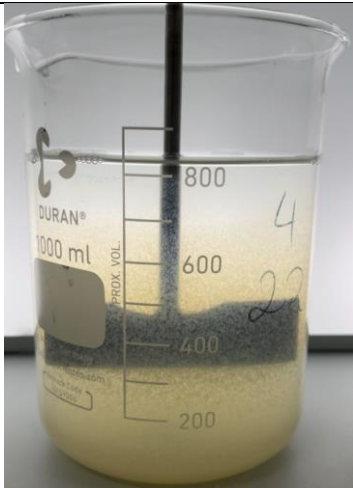
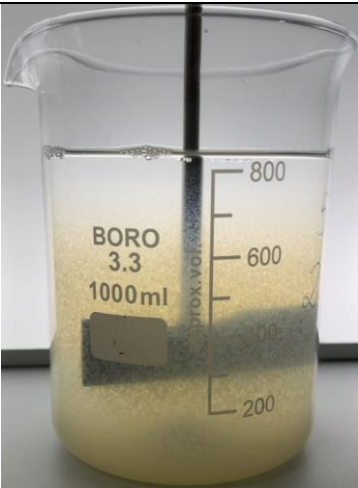
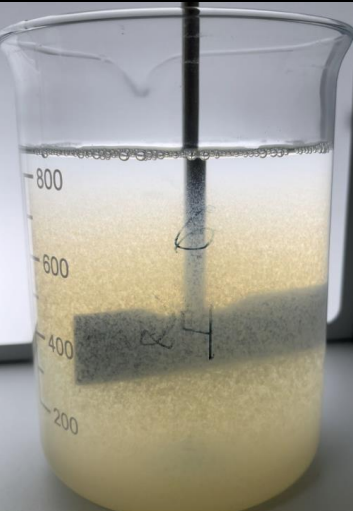
Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

Las mejores pruebas fueron la cuarta prueba con una concentración de 20 ml y la quinta prueba con 25 ml, por lo que se los tomaron en consideración para porcentual nuevamente las concentraciones en ese rango.

En las nuevas pruebas utilizamos la concentración de 17ml

**Tabla 3** Pruebas de precipitación química con concentración de sulfato de aluminio al 1% en el rango de 17 ml a 24 ml

Volumen	17 ml	18 ml
<b>Imagen</b>		
<b>Volumen</b>	19 ml	21 ml

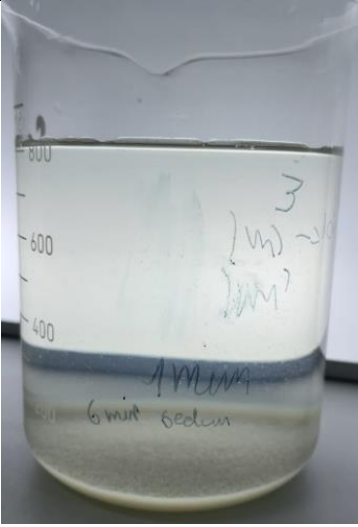
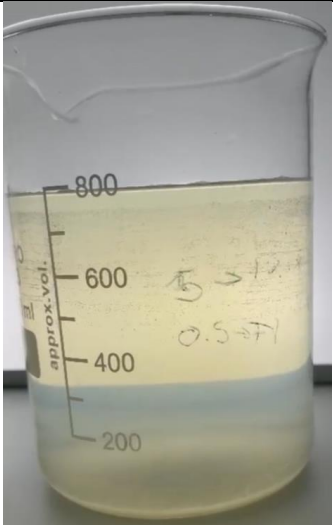
<b>Imagen</b>		
<b>Volumen</b>	<b>22 ml</b>	<b>23 ml</b>
<b>Imagen</b>		
<b>Volumen</b>	<b>24 ml</b>	
<b>Imagen</b>		

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

El mejor resultante fue el de 18 ml que en cuatro horas quedó netamente clarificado.

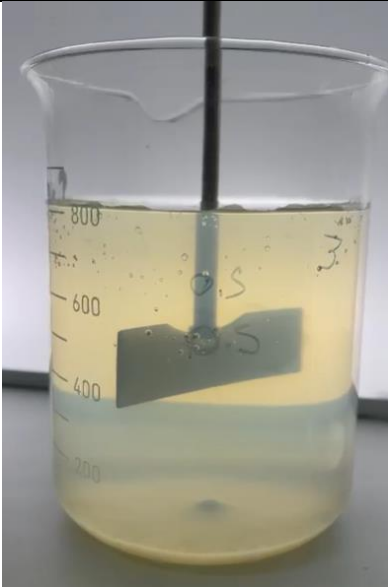
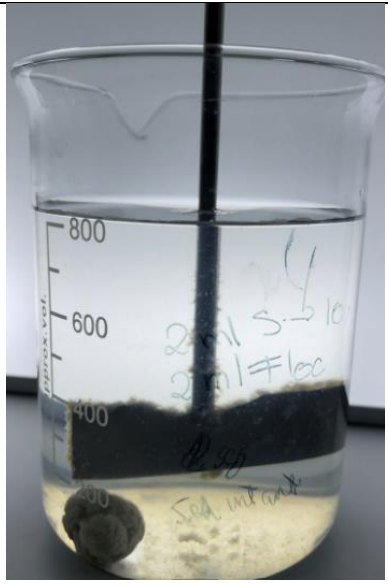
Nuevamente se procedió a intentar con 17 m

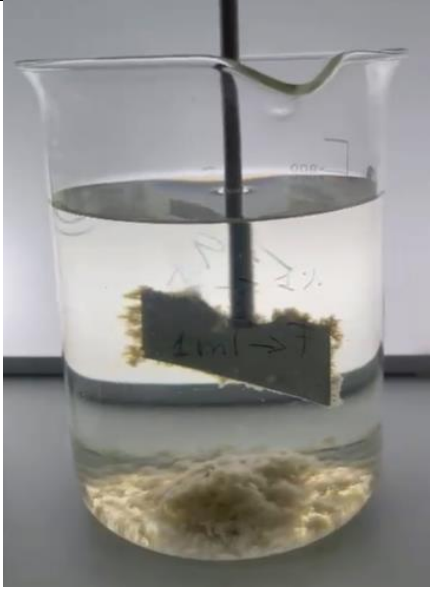
**Tabla 4** Pruebas de precipitación química con concentración de sulfato de aluminio al 1% y floculante

<b>Volumen de sulfato de aluminio al 1%</b>	1 ml
<b>Volumen Floculante</b>	1 ml
<b>Imagen</b>	
<b>Volumen de sulfato de aluminio al 1%</b>	5 ml
<b>Volumen Floculante</b>	0.5 ml
<b>Imagen</b>	

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

**Tabla 5** Pruebas de precipitación química con concentración de sulfato de aluminio al 10% y floculante

<p><b>Volumen de sulfato de aluminio al 10%</b></p>	<p>0,5 ml</p>
<p><b>Volumen Floculante</b></p>	<p>0,5 ml</p>
<p><b>Imagen</b></p>	
<p><b>Volumen de sulfato de aluminio al 10%</b></p>	<p>2 ml</p>
<p><b>Volumen Floculante</b></p>	<p>2 ml</p>
<p><b>Imagen</b></p>	

<b>Volumen de sulfato de aluminio al 10%</b>	1 ml
<b>Volumen Floculante</b>	1 ml
<b>Imagen</b>	

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

El resultado más favorable se obtuvo con la muestra que consistía en 1 ml de sulfato de aluminio al 10% y 1 ml de floculante, quien fue seleccionado para referenciarlo en la tratabilidad global en la industria.

#### **4.8 Análisis del tiempo óptimo de Coagulación**

Es una técnica para evaluar la eficacia de los coagulantes utilizados en el tratamiento del agua. Se añadirían diferentes dosis de coagulante a muestras de agua residual y se observaría visualmente la velocidad a la que se forman los coágulos. En las muestras que realizamos se registró el tiempo de 4 horas en la mejor prueba para mostrar una coagulación con la mejor clarificación del agua.

##### **4.8.1 Datos de tiempo de coagulación**



**Tabla 6** Tiempo de coagulación

<b>Meses</b>	<b>Numero de muestras</b>	<b>Tiempo de floculación</b>	<b>Velocidad</b>
Noviembre	6	4 minutos	200 m/s
Diciembre	6	4 minutos	200 m/s
Enero	6	3 minutos	200 m/s
Febrero	6	2 minutos	200 m/s

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

Los resultados nos muestran que las muestras de febrero tuvieron menor tiempo a pesar de tener la misma velocidad, podemos concluir que se haya dado por un mejor manejo de los reactivos y que no hubo factores que perjudicaran a la muestra como errores de tiempo.

#### **4.9 Análisis de tiempo de floculación**

El análisis de velocidad lenta nos reveló el resultado de las diferentes dosis de floculantes y coagulantes en el agua residual el tiempo impuesto fue de 10 minutos en todas las muestras tratadas.

##### **4.9.1 Datos del tiempo de floculación**

**Tabla 18.** Tiempo de floculación

<b>Meses</b>	<b>Numero de muestras</b>	<b>Tiempo de floculación</b>	<b>Velocidad</b>
Noviembre	6	10 minutos	5 m/s
Diciembre	6	6 minutos	5 m/s
Enero	6	6 minutos	5 m/s
Febrero	6	2 minutos	5 m/s

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

Los datos en la tabla nos indican que el resultado en el mes de febrero tardó menos en el tiempo de floculación, las razones son diversas desde la buena de las muestras que en los meses pasados hasta una mejor utilización de los instrumentos para aplicar la dosis óptima.

#### **4.10 Determinación de tiempo óptimo para la sedimentación**

Para determinar este tiempo, se ajustaron los volúmenes de sulfato de aluminio y cal para cada una de las muestras. Se observa cómo varía según el tiempo y se elige la que tarde menos en sedimentar.

##### *4.10.1 Análisis del tiempo de sedimentación*

**Tabla 19.** Tiempo de sedimentación

<b>Meses</b>	<b>Numero de muestras</b>	<b>Tiempo de sedimentación</b>
Noviembre	6	4 horas
Diciembre	6	6 horas
Enero	6	4 horas
Febrero	6	3 horas

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

Los análisis indican que en el proceso de sedimentación fue muy variado en especial en dos meses, en diciembre se registró una demora de 6 horas que es la más larga de todas las pruebas y el mes de febrero como la más corta, las razones una mejor destreza para manipular los instrumentos y ya tener los datos de una mejor dosis para el proceso

#### **4.11 Descripción del proceso de tratamiento de agua residual**

##### *4.11.1 Zona de floculación*

El flujo de agua cruda se dirigirá a través de un conducto diseñado específicamente para transportarlo hacia la zona de floculación, donde se ha previamente determinado y ajustado la dosificación óptima de reactivos para iniciar eficazmente el proceso de tratamiento. La

representación gráfica evidencia la presencia de un agitador de velocidad, configurado para alcanzar la velocidad adecuada para iniciar la homogeneización de los componentes químicos destinados a ajustar el pH mediante la adición de cal y a inducir la coagulación mediante el uso de sulfato de aluminio.

El tránsito del agua cruda por el conducto se ejecutará con precisión hacia la sección de floculación, donde se ha planificado la introducción de los reactivos necesarios para iniciar la etapa de tratamiento. La imagen ilustrativa resalta la inclusión de un agitador de velocidad, cuya calibración asegura una mezcla óptima de los compuestos químicos, tales como la cal para ajuste de pH y el sulfato de aluminio para la coagulación, garantizando así condiciones ideales para la eficacia del proceso de purificación.

#### ***4.11.2 Tanque de almacenamiento de lodos***

En este contexto, es crucial abordar la gestión de residuos, dado que es factible la generación de subproductos al concluir las operaciones. Con este propósito, se ha implementado un área dedicada exclusivamente al tratamiento de lodos, concebida para recibir y gestionar de manera efectiva todos los desechos generados tras el proceso de floculación. Este espacio está diseñado para garantizar una disposición adecuada de los residuos, minimizando el impacto ambiental y cumpliendo con las normativas y regulaciones vigentes en materia de gestión de desechos industriales.

La creación del área de lodos constituye una medida preventiva esencial en el contexto operativo de estas empresas, considerando la naturaleza de los materiales involucrados y la posibilidad inherente de generación de residuos. La implementación de este espacio especializado asegura una gestión eficiente y responsable de los subproductos resultantes del proceso de floculación. Además, esta disposición contribuye significativamente a mantener la integridad ambiental del entorno circundante, al mitigar posibles impactos negativos derivados de la presencia de residuos industriales. En suma, el área de lodos representa un componente

crucial en el diseño integral de las instalaciones, asegurando la sostenibilidad ambiental y el cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad requeridos en este ámbito.

#### **4.11.3 Filtros**

La sección mencionada representa la etapa subsiguiente en el proceso de tratamiento de aguas, caracterizada por la eliminación de impurezas que afectan la calidad del agua. Aquí, el agua, ya desprovista de color y olor perceptibles, será sometida a un proceso de filtración mediante una serie de materiales específicos. Estos materiales actúan como medios filtrantes, capturando y absorbiendo la materia biológica presente en el agua, lo que resulta en la eliminación efectiva de patógenos y otros contaminantes. Este proceso se realiza a través de dos filtros, cada uno diseñado con diferentes capas: arena, grava y piedra, conformando una secuencia que facilita la retención progresiva de impurezas según su tamaño y densidad. Posteriormente, el agua purificada pasa a través de un filtro adicional donde se encuentra exclusivamente carbón activado, ampliando la capacidad de adsorción y eliminación de compuestos orgánicos y químicos residuales.

La disposición de esta sección en la planta de tratamiento de aguas refleja un enfoque sistemático y eficiente para garantizar la pureza del agua tratada. La estructura de los filtros, compuesta por capas de diferentes materiales, permite una filtración escalonada que optimiza la remoción de contaminantes, garantizando así estándares de calidad adecuados. La inclusión del carbón activado en el último filtro constituye una medida adicional para asegurar la eliminación de compuestos orgánicos disueltos y mejorar las propiedades organolépticas del agua tratada. Este enfoque multifacético en la purificación del agua subraya el compromiso con la excelencia ambiental y la protección de la salud pública, al proporcionar un suministro de agua seguro y libre de contaminantes para su uso y consumo.

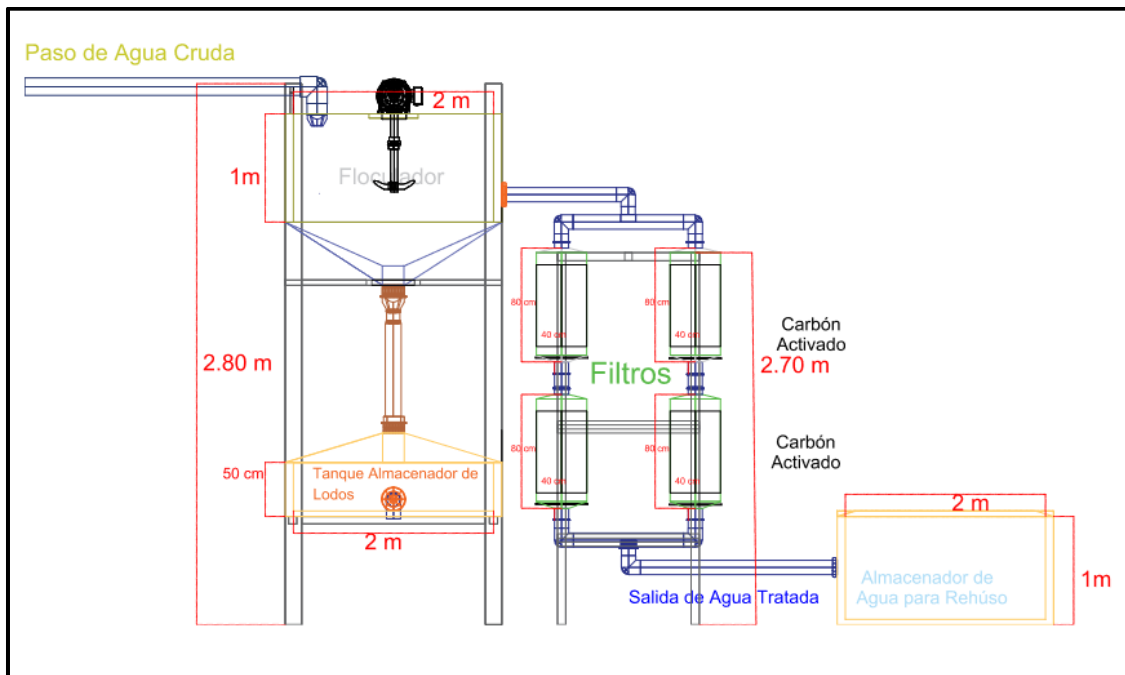
#### ***4.11.4 Salida de agua tratada***

La etapa final del proceso de tratamiento de aguas se lleva a cabo en esta área designada, donde el agua previamente tratada alcanza su estado óptimo para su disposición final en el sistema de alcantarillado. En este punto, el agua ha pasado por una serie de procesos de purificación que han eliminado eficazmente contaminantes y agentes patógenos, garantizando su conformidad con los estándares de calidad establecidos. El agua tratada, ahora libre de color, olor y contaminantes, se encuentra lista para ser descargada de manera segura en el sistema de alcantarillado, contribuyendo así a la preservación del medio ambiente y a la protección de la salud pública.

Esta área de descarte final representa el culmen del proceso de tratamiento de aguas, donde se consolida el esfuerzo por obtener un efluente de alta calidad y apto para su liberación en el entorno. La implementación de rigurosos protocolos de tratamiento ha asegurado que el agua tratada cumpla con los estándares regulatorios, minimizando el impacto ambiental asociado con su descarga. Al canalizar el agua tratada hacia el sistema de alcantarillado, se completa el ciclo de tratamiento, cerrando así el ciclo de gestión integral del recurso hídrico y promoviendo la sostenibilidad ambiental en el contexto de la gestión de aguas residuales industriales.

#### **4.12 Diseño de la Planta de tratamiento**

**Figura No. 4** Modelo de planta de tratamiento.



Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

La información proporcionada acerca de la ubicación de las piscinas, los tiempos de procesamiento por lote y el volumen de agua almacenado en la cisterna ha sido fundamental para la elaboración del diseño de la planta de tratamiento que se implementará en dicho sector. Se ha optado por utilizar el método de filtración, el cual implica el empleo de materiales como arena, grava, tierra y carbón activo. Este sistema permitirá remover los contaminantes presentes en el agua residual antes de su descarga hacia la alcantarilla. Se destaca que, aunque este método también puede ser empleado para la potabilización del agua, en este caso se enfocará exclusivamente en garantizar el cumplimiento de los parámetros de vertido hacia el sistema de alcantarillado, asegurando así la protección del medio ambiente circundante.

Además, se contempla la instalación de un tanque de lodos para la gestión adecuada de los residuos generados durante el proceso de tratamiento. A pesar de tratarse de una cantidad mínima, es crucial establecer un protocolo adecuado para el manejo y disposición de estos lodos. Esto implica la implementación de medidas apropiadas de manejo y disposición final, considerando aspectos como la potencial valorización de los lodos como subproducto o su

disposición segura en vertederos autorizados. La adecuada gestión de los lodos contribuirá a mantener la eficiencia y sostenibilidad del sistema de tratamiento de aguas residuales en el largo plazo.

#### **Volumen de tanque de floculación**

Volumen tanque = Largo x Ancho x Altura

$$V = 2 \text{ metros} * 2 \text{ metros} * 1 \text{ metros}$$

$$\text{Volumen} = 4\text{m}^3 * 1000 \text{ Litros}$$

$$\text{Litros del tanque} = 4000 \text{ Litros}$$

#### **Volumen del almacenamiento de lodos**

Volumen tanque = Largo x Ancho x Altura

$$V = 2 \text{ metros} * 2 \text{ metros} * 0,5 \text{ metros}$$

$$\text{Volumen} = 2\text{m}^3$$

#### **Volumen de tanque de agua para rehúso**

Volumen tanque = Largo x Ancho x Altura

$$V = 2 \text{ metros} * 2 \text{ metros} * 1 \text{ metros}$$

$$\text{Volumen} = 4\text{m}^3 * 1000 \text{ Litros}$$

$$\text{Litros del tanque} = 4000 \text{ Litros}$$

### **4.13 Financiamiento de la planta de tratamiento**

Para la ejecución del proyecto de la estación depuradora del agua residual generada en las instalaciones de la empresa metalmecánica ubicada en Guayaquil, se ha realizado un plan de financiamiento que permita a la entidad tomar una decisión.

## Inversión fija inicial

### Terreno y obras civiles

**Tabla 7** Terreno y obras civiles

<b>Descripción</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Cantidad Metros cuadrados</b>	<b>Total</b>
Terreno	0,00	0	0,00
Piso	13,00	100	2.600,00
Instalación de puntos eléctricos	20,00	5	100,00
<b>Total</b>			<b>2.700,00</b>

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

### Maquinaria, mobiliarios y equipos

**Tabla 8** Maquinaria, mobiliarios y equipos

<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
Tuberías y Válvulas	1.200,00	1	1.200,00
Homogeneizador	7.500,00	1	7.500,00
Filtro	4.680,00	1	4.680,00
Motor reductor	3.980,00	1	3.980,00
Bombas centrifugas	1.000,00	1	1.000,00
Plancha de acero INOX 316L	241,06	8	1.928,49
<b>Total</b>			<b>20.288,49</b>

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.



## Otros activos

**Tabla 9** Otros activos

<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor total</b>
No aplica	0,00	0	0,00
<b>Total</b>			<b>0,00</b>

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

## Total, de la inversión fija inicial

**Tabla 10** Total, de la inversión fija inicial

<b>Descripción</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Cantidad Metros cuadrados</b>	<b>Total</b>
Terreno y obras civiles	0,00	0	0
Maquinarias y equipos		100	18.360,00
Otros activos		0	0
<b>Total</b>			<b>18.360,0</b>

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

## Materiales directos

**Tabla 11** Materiales directos

<b>Descripción del producto</b>	<b>Costo Unitario por kg o l</b>	<b>Cantidad anual</b>	<b>Valor total</b>
Sulfato de Aluminio al 10%	0,98	25 kg	24,50
Cal al 1%	0,32	15 kg	1.140,00
Floculante	10	2 l	20,00
Arena	0,95	8 kg	7,60
Graba	1,57	10 kg	15,70
Piedra	5,00	5 kg	25,00
Carbón activo	20,00	25 kg	500,00
<b>Total</b>			<b>1.732,80</b>

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

## Mano de obra directa

**Tabla 12** Mano de obra directa

<b>Descripción</b>	<b>Costo unitario anual</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor total</b>
No aplica	0	0	0
<b>Total</b>			<b>0</b>

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

### Costo Directos de Producción

**Tabla 13** Costos directos de producción

<b>Descripción</b>	<b>Costo unitario anual</b>	<b>Cantidad anual</b>	<b>Total</b>
Mantenimiento	300,00	12	3.600,00
Energía	60,00	12	720,00
Servicios	50,00	12	600,00
<b>Total</b>			<b>4.920,00</b>

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

### Costos Indirectos de Producción

**Tabla 14** Costos indirectos de producción

<b>Descripción</b>	<b>Costo unitario anual</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
Contratista	200,00	1	200,00
<b>Total</b>			<b>200,00</b>

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

### Costos Totales de producción

**Tabla 15** Costos totales de producción

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>%</b>
Materiales directos	0	-
Mano de obra directa	0	-
Costos directos de producción	4.920,00	99%
Costos indirectos de producción	200	1%

<b>Total</b>	<b>5.120,00</b>	<b>100%</b>
--------------	-----------------	-------------

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

### Gatos generales

**Tabla 16** Gatos generales

<b>Descripción</b>	<b>Promedio mensual</b>	<b>Estimado anual</b>
Energía eléctrica y agua	100,00	1200,00
<b>Total</b>		<b>1.200,00</b>

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

### Costos Totales

**Tabla 17** Costos Totales

<b>Descripción</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Costo Total de producción	22.452,80	95%
Gastos generales	1200	5%
Gasto de ventas	0	0%
<b>Total</b>	<b>23.652,80</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

### Capital de trabajo

**Tabla 18** Capital de trabajo

<b>Descripción</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Materiales directos	1.732,80	8%
Mano de obra directa	15.600,00	69%
Costo directo de producción	4.920,00	22%

Costo indirecto de producción	200	1%
Gastos administrativos	0	0%
<b>Total</b>	<b>22.452,80</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

### Clasificación de los costos

**Tabla 19** Clasificación de los costos

Descripción	Total
Materiales directos	1.732,80
Mano de obra directa	15.600,00
Costo directo de producción	4.920,00
Costo indirecto de producción	200,00
Gastos administrativos	0
<b>Total</b>	<b>22.452,80</b>

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

Todos los valores expuestos son costos variables.

### 4.14 Costo beneficio

**Tabla 20** Evaluación de costo beneficio

EVALUACIÓN COSTO BENEFICIO							
X	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Total
<b>Inversión</b>	23660						
<b>Ingresos</b>		8.850,00	8.850,00	8.850,00	8.850,00	8.850,00	44250
<b>Egresos</b>		2600	2600	2600	2600	2600	13000
<b>Flujo</b>		6.250,00	6.250,00	6.250,00	6.250,00	6.250,00	
<b>Costos + Inversión</b>							36660
<b>Costo - beneficio</b>							1,20703764 Mayor a 1

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

Como se puede apreciar el resultado del análisis costo beneficio es mayor a 1 por lo tanto el proyecto es viable.

#### 4.15 Comprobación de Hipótesis

H0:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

H1: Existe al menos un  $\mu_i$  distinto al resto

Grupo 1: resultados del agua residual cruda

Grupo 2: resultados del agua residual tratada por precipitación química

Grupo 3: los Resultados del agua residual tratada por precipitación química + filtración.

##### Código:

```
value<c(0,0,0.85,1.05,6.37,6.8,9.89,14,25,35,50,280,459,1879,0,0,0,0,0,0,0.8,1.6,3,6.3  
,8.26,25,58,740,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1.2,6,8,8.30,240)
```

```
group1 <- c(rep("Group1", 14), rep("Group2", 14), rep("Group3", 13))
```

```
my.dataframe<-data.frame(value, group1)
```

```
res.aov <- aov(value ~ group1, data = my.dataframe)
```

```
summary(res.aov)
```

```
TukeyHSD(res.aov)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
group1	2	237023	118511	1.176	0.32
Residuals	38	3830975	100815		

	diff	lwr	upr	p adj
Group2-Group1	-137.4286	-430.1097	155.2525	0.4927970
Group3-Group1	-177.3708	-475.6272	120.8857	0.3259461
Group3-Group2	-39.9422	-338.1987	258.3143	0.9429839

Interpretación: Dado que el valor es grande no existe evidencia suficiente para afirmar que existe diferencias significativas entre los resultados del agua residual cruda, resultados del agua residual tratada por precipitación química y los Resultados del agua residual tratada por precipitación química + filtración.

**Figura No. 5** Tablas estadísticas de las hipótesis



Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

## CAPITULO V

### 5.1 Conclusiones

- Los resultados que se obtuvieron al analizar el agua residual cruda de la empresa nos mostraron que a excepción del zinc todos están dentro de los parámetros permisibles para descarga al alcantarillado por lo que se procederá a bajar su concentración.
- Las pruebas de jarra con los que se evalúa la concentración adecuada resulto ser muy adecuada para nuestra investigación a pesar de que duro más tiempo logramos llegar a la dosis correcta.
- Los ensayos realizados con sulfato de aluminio y cal fueron muy eficaces para este tipo de agua residual.
- Los resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos después de la implementación de los tratamientos evidencian la eficacia del tratamiento propuesto.

- La comparación de los resultados obtenidos con los estándares ambientales establecidos evidencia una mejora de la calidad del agua residual tratada así como también en la protección del entorno ambiental circundante.
- Este rendimiento de la planta de tratamiento sugiere una operación efectiva en la reducción de contaminantes, lo cual contribuye a la protección del medio ambiente. Además, la anticipada disminución en los problemas de rebose en la cisterna sugiere una mejora significativa en la gestión de los residuos líquidos, lo que resultará en una disminución de posibles impactos negativos en el entorno circundante.
- En conjunto, los resultados de los ensayos y el estudio financiero respaldan la implementación de una planta de tratamiento basada en el método de filtración como la mejor solución para la gestión de los residuos líquidos de la industria. Este enfoque no solo garantiza la eficacia en la eliminación de contaminantes, sino que también ofrece beneficios económicos significativos a la empresa. Estos hallazgos subrayan la importancia de un enfoque integrado que combine consideraciones técnicas, ambientales y financieras en el diseño y la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- La investigación demuestra que sí se puede llegar a reusar el agua residual previo tratamiento evitando descargar al sistema de alcantarillado si se llega a implementar la planta de tratamiento.
- Se llega a concluir que el proceso de la planta, más su mantenimiento puede ser más beneficioso a la empresa que enviarlo a un gestor ambiental, la proyección de una reducción de costos al evitar la contratación de un gestor de residuos representa un beneficio económico adicional para la industria.



- En conjunto, estos hallazgos subrayan el impacto positivo del sistema de tratamiento en la gestión ambiental de la industria, alineándose con los objetivos de conservación y protección de los recursos naturales.

## **5.2 Recomendaciones**

- Se recomienda la implementación del sistema de tratamiento desarrollado en la presente tesis como una medida para mejorar la gestión, reducir el impacto ambiental de los efluentes generados por la actividad metalmecánica y reusar el agua residual tratada en el proceso de la planta de tratamiento.
- Se sugiere programas de capacitación para el personal encargado del manejo y operación del sistema de tratamiento. Un personal bien capacitado asegura un rendimiento óptimo y reduce la posibilidad de errores operativos.
- Se recomienda un programa de mantenimiento preventivo para garantizar el funcionamiento eficiente y duradero del sistema de tratamiento. Esto incluirá pautas específicas para inspecciones regulares, limpieza y reemplazo de componentes.
- Se sugiere ajustes específicos en los procesos operativos, como la dosificación de reactivos y los tiempos de retención, para maximizar la eficiencia del tratamiento y reducir costos operativos.
- Se recomienda que la empresa mantenga registros detallados de todas las operaciones relacionadas con el tratamiento del agua residual. Esto incluirá resultados de pruebas, informes de monitoreo y registros de mantenimiento.
- Fomentar una comunicación transparente con las partes interesadas, incluidos empleados, reguladores y la comunidad local. La transparencia fortalecerá la reputación de la empresa y mejorará la aceptación comunitaria.

- Hay que destacar la importancia de la mejora continua y la adaptabilidad del sistema de tratamiento. Anima a la empresa a estar abierta a la implementación de nuevas tecnologías o prácticas que puedan surgir en el futuro.

## Referencias bibliográficas

Machado, R. M., Monteggia, L. O., Arenzon, A., & Curia, A. C. (2016). Assessment of the toxicity of wastewater from the metalworking industry treated using a conventional physico-chemical process. *Environmental monitoring and assessment*, 188(6), 373. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5361-9>

Anexo, L. V. I. (s/f). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA*. Fao.org. Recuperado el 11 de febrero de 2024, de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>

Edición, P. (s/f). *AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS*. Insistec.ec. Recuperado el 11 de febrero de 2024, de <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%202169%20-%20AGUA.%20%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20%20MUESTREO.%20%20MANEJO%20Y%20CONSERVACION%20DE%20MUESTRAS.pdf>

Edición, P. (s/f-b). *AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO*. Gob.ec. Recuperado el 11 de febrero de 2024, de [https://gestionambiental.pastaza.gob.ec/biblioteca/legislacion-ambiental/patrimonio\\_natural/nte\\_inen\\_2176\\_1\\_agua\\_calidad\\_agua\\_muestreo\\_tecnicas\\_muestreo.pdf](https://gestionambiental.pastaza.gob.ec/biblioteca/legislacion-ambiental/patrimonio_natural/nte_inen_2176_1_agua_calidad_agua_muestreo_tecnicas_muestreo.pdf)

Beleño Sáenz, K., Coll Velázquez, J., De La Hoz, J., & Díaz Sáenz, C. (2022). Tratamiento de Aguas Residuales en la Industria Metalúrgica. *Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, 3(1), 19–33. <https://doi.org/10.17981/cesta.03.01.2022.03>

Castro Estrada, J. A. (2021). Estándares de calidad del agua, asociados a metales y metaloides, para el uso del agua en la preservación de la fauna y flora en Colombia [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Ambiente, M. d. (2015). Acuerdo Ministerial 097 A. En M. d. Ambiente, Anexo 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA (pág. 8). Quito.

Charaja, A. J. M. (2020). Aplicación de herramientas de Lean Manufacturing para mejorar la productividad en empresas metal mecánica de aluminio [Bachelor's thesis, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/18253>

Reyes, E. (2018). Aplicaciones del Intercambiador de Calor en la industria metalúrgica.

Chuquilin, C., (2020). Técnicas de tratamiento para la remoción de metales pesados en aguas residuales [Universidad Científica del Sur]. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/1590>

Velasquez, Paredes Ruben Alvaro. "Diagnóstico, análisis y propuesta de mejora en la fabricación de semirremolques volquete en una empresa metalmecánica". Bachelor's thesis, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2020. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/17389>.

Ramirez-Rodriguez, J. C. (2023). Tratamiento de aguas residuales y problemáticas ambientales del sector textil en Colombia: una revisión. *Informador Técnico*, 87(1), 82–106. <https://doi.org/10.23850/22565035.5304>

Metalmecánica. (2020, agosto 13). Tratamiento eficiente de aguas residuales para la industria metalmecánica. *Metalmecánica*. <https://www.metalmecanica.com/es/noticias/tratamiento-eficiente-de-aguas-residuales-para-la-industria-metalmecanica>

Chen, Bo & Chen, Yuchao & Xu, Lufeng & Zhang, Yiming & Li, Haixiang. (2020). Research and development on industrial heavy metal wastewater treatment technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 585. 012051. 10.1088/1755-1315/585/1/012051.

Abdel-Shafy, H. I., Morsy, R. M. M., Hewehy, M. A. I., Razek, T. M. A., & Hamid, M. M. A. (2022). Treatment of industrial electroplating wastewater for metals removal via electrocoagulation continuous flow reactors. *Water Practice & Technology*, 17(2), 555–566. <https://doi.org/10.2166/wpt.2022.001>

Industries we serve with high quality metal fabrication. (2020, octubre 1). Ben Parker Company. <https://benparkerco.com/industries/>

Ramírez, V. O., Limones, C. P., Vargas, A. L., & Escobar, I. S. (2019). Optimización del sistema de tratamiento fisicoquímico de una estación depuradora de aguas residuales de bebidas gaseosas. *Industrial data*, 22(2), 199-205

De, C. 19 R. O. S. 418. (s/f). *LEY DE GESTION AMBIENTAL, CODIFICACION*. Gob.ec. Recuperado el 12 de febrero de 2024, de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>

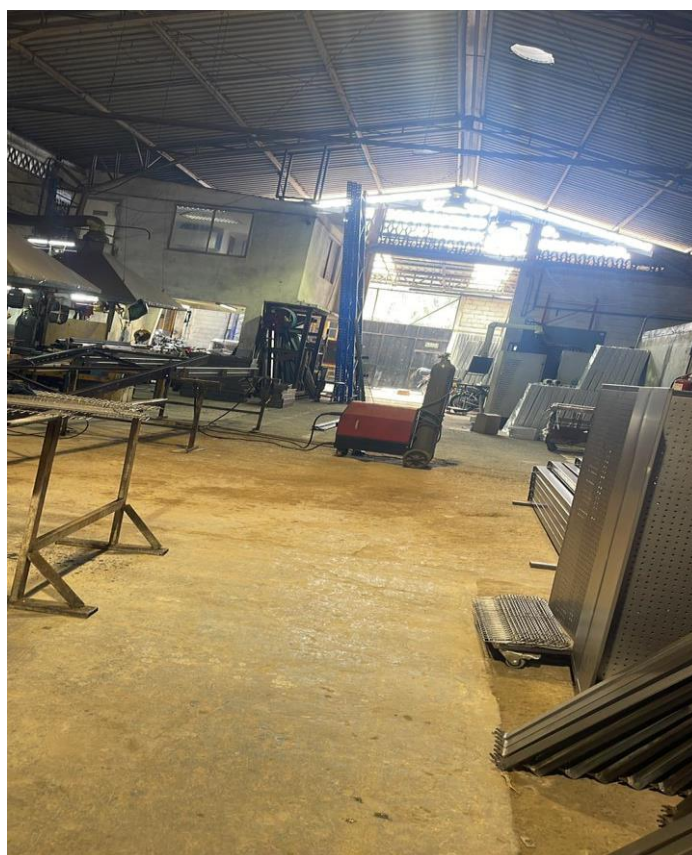
## ANEXOS

### Anexo N° 1 Cronograma de trabajo

No.	Actividades	Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Reconocimiento de la zona de estudio.																
2	Elaboración del anteproyecto.																
3	Presentación del anteproyecto.																
4	Adquirir reactivos para la determinación de parámetros																
5	Identificación del punto de muestreo (Toma de coordenadas)																
6	Entrega de muestras obtenidas al laboratorio acreditado																
7	Toma de muestras según el protocolo																
8	Análisis de muestras																
9	Prueba de tratamiento de agua residual industrial																
10	Redacción del Informe del trabajo de titulación																
11	Presentación final																

Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

### Anexo N° 2 Visita a la empresa



Fuente: Autoras del trabajo de titulación.



**Anexo N° 2 Foto de la piscina de lavado**



Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

**Anexo N° 2 Foto de la cisterna de almacenamiento de agua residual**



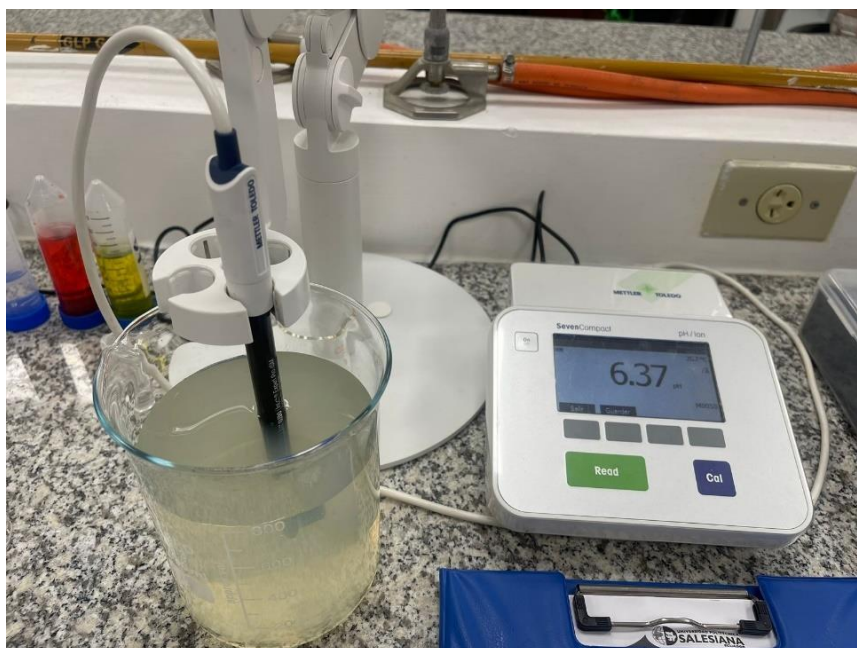
Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

### Anexo N° 3 Laboratorio de lodos de la Universidad Salesiana



Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

### Anexo N° 5 Foto del pH de la muestra cruda de agua residual industrial



Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

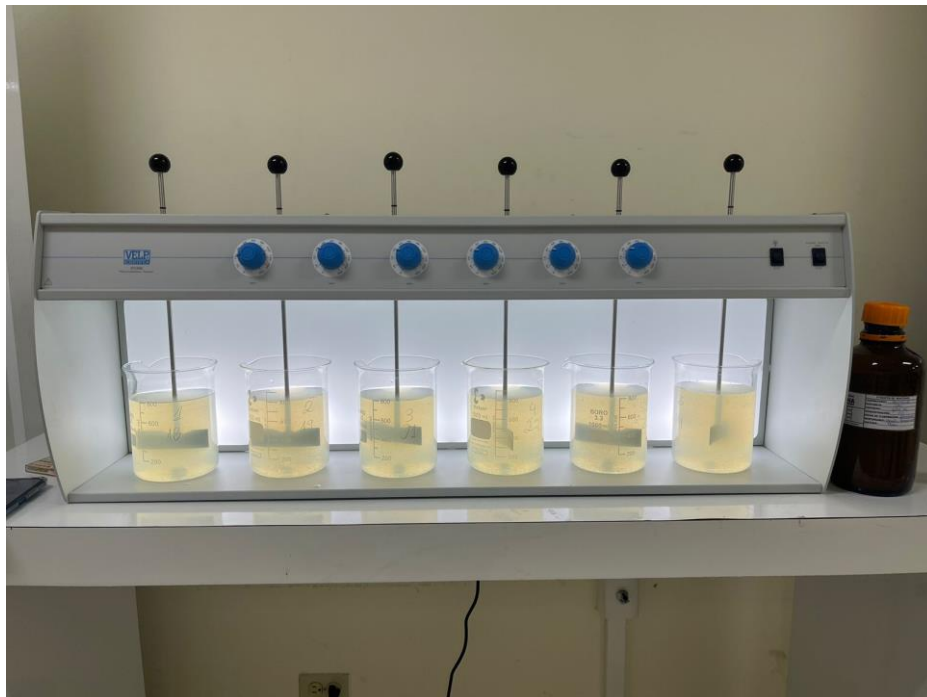


**Anexo N° 4 Foto del lavado de piedras**



Fuente: Autoras del trabajo de titulación.

**Anexo N° 5 Fotos de las muestras de test de jarra**



Fuente: Autoras del trabajo de titulación.