UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA INDUSTRIA COSMÉTICA

TRABAJO EXPERIMENTAL

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de

INGENIERA AMBIENTAL

AUTOR

ESPARZA BURGOS MISHELLE ARIANA

TUTOR

ING. BANCHÓN BAJAÑA CARLOS LUIS M.Sc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2020

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA INDUSTRIA COSMÉTICA

TRABAJO EXPERIMENTAL

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de

INGENIERA AMBIENTAL

AUTOR

ESPARZA BURGOS MISHELLE ARIANA

TUTOR

ING. BANCHÓN BAJAÑA CARLOS LUIS M.Sc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2020

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, BANCHÓN BAJAÑA CARLOS LUIS, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA INDUSTRIA COSMÉTICA, realizado por la estudiante ESPARZA BURGOS MISHELLE ARIANA; con cédula de identidad N°095059663-5 de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Banchón Bajaña Carlos Luis, M.Sc.
Tutor

Guayaquil, 20 de agosto del 2020

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **"EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA INDUSTRIA COSMÉTICA"**, realizado por la estudiante **ESPARZA BURGOS MISHELLE ARIANA**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Muñoz Naranjo Diego, M.Sc.
PRESIDENTE

Ing. Banchón Bajaña Carlos, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Crespo León Karla, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Guayaquil, 20 de agosto del 2020

Dedicatoria

El presente trabajo experimental se lo dedico principalmente a Dios por sus bendiciones al permitirme lograr una meta más en mi vida como profesional, ya que sin él no hubiera sido posible terminar mis estudios superiores.

A mi madre Berty Marisol Burgos Briones por siempre ser el pilar fundamental que me sostiene, por su apoyo infinito, el cual me inspiró a seguir luchando día a día pese a las adversidades de la vida, por sus buenos consejos y por ese gran amor que me brinda en cada paso que doy y en cada meta que me propongo realizar.

Agradecimiento

Agradezco a mi madre por brindarme el mejor regalo, ya que fue mi apoyo incondicional en el proceso y culminación de mis estudios superiores.

Agradezco a la Universidad Agraria del Ecuador, institución de educación superior que me abrió las puertas para formarme y realizarme como profesional.

Agradezco a mi tutor de tesis Ing. Carlos Luis Banchón Bajaña M.Sc. por ser docente guía, catedrático y colega, brindándome todo su apoyo incluyendo sus conocimientos científicos, para que pueda aplicarlos en el trabajo de titulación, gracias por la paciencia que me tuvo y por hacer de mí una profesional ejemplar y llena de sabiduría.

Agradezco a cada docente por su cátedra impartida en el transcurso de los 5 años de preparación como Ingeniera Ambiental, ya que gracias a ellos pude obtener conocimientos más amplios, mismos que me permitieron desenvolverme en la práctica pre-profesional.

Agradezco a la industria cosmética, empresa que me abrió campo para elaborar el trabajo experimental de tesis.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **MISHELLE ARIANA ESPARZA BURGOS**, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre **"EVALUACIÓN DE MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA INDUSTRIA COSMÉTICA"** para optar el título de **INGENIERA AMBIENTAL**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, agosto 24 del 2020

ESPARZA BURGOS MISHELLE ARIANA
C.I. 095059663-5

Índice general

PORTADA…….....1

APROBACIÓN DEL TUTOR 3

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....4

Dedicatoria 5

Agradecimiento 6

Autorización de Autoría Intelectual 7

Índice general.....8

Índice de tablas 13

Índice de figuras 14

Resumen.....17

Abstract 18

1. Introducción 19

1.1 Antecedentes del problema.....19

1.2 Planteamiento y formulación del problema 21

1.2.1 Planteamiento del problema 21

1.2.2 Formulación del problema 22

1.3 Justificacióndelainvestigación 22

1.4 Delimitacióndelainvestigación 23

1.5 Objetivo general 24

1.6 Objetivos específicos 24

1.7 Hipótesis **25**

2. Marco teórico **26**

2.1 Estado del arte **26**

2.2 Bases teóricas **27**

2.2.1 Aguas residuales **27**

2.2.2 Aguas residuales domésticas **27**

2.2.3 Aguas residuales industriales **27**

2.2.4 Aguas residuales municipales o urbanas **28**

2.2.5 Aguas residuales en industria alimenticia **28**

2.2.6 Aguas residuales en industria textil **28**

2.2.7 Aguas residuales en industria láctea **28**

2.2.8 Aguas residuales en industria farmacéutica **29**

2.2.9 Aguas residuales en industria metalúrgica **29**

2.2.10 Aguas residuales en industria petroquímica **29**

2.2.11 Aguas residuales en industria química **30**

2.2.12 Aguas residuales en industria cosmética **30**

2.2.13 Caracterización de las aguas residuales **30**

2.2.14 Componentes principales del agua residual **31**

2.2.15 Componentes especiales del agua residual y procesos **31**

2.2.16 Coagulación **32**

2.2.17 Floculación **32**

2.2.18 Filtración **32**

2.2.19 Neutralización 32

2.2.20 Sulfato de aluminio 33

2.2.21 Policloruro de aluminio 33

2.2.22 Poliacrilamida.....33

2.2.23 Ácido.....33

2.2.24 Base 34

2.2.25 Sello rojo "Lejía escama" 34

2.2.26 Turbidez alta.....34

2.2.27 Turbidez media.....34

2.2.28 Turbidez baja.....35

2.2.29 Parámetros físico-químicos del agua residual industrial.....35

2.2.30 Tratamiento de aguas residuales.....36

2.2.31 Métodos de tratamiento de aguas residuales 37

2.3 Marco legal 37

2.3.1 Ley de la Constitución de la República Del Ecuador (2008) 37

2.3.2 Convenios y protocolos internacionales 37

2.3.3 Leyes y códigos 38

2.3.4 Decretos y reglamentos.....39

2.3.5 Acuerdo, Resoluciones y Normas Secundarias 39

3. Materiales y métodos.....41

3.1 Enfoque de la investigación.....41

3.1.1 Tipo de investigación 41

3.1.2 Diseño de investigación 42

3.2 Metodología.....42

3.2.1 Variables.....42

3.2.2 Tratamientos 42

3.2.3 Diseño experimental 44

3.2.4 Recolección de datos 44

3.2.5 Análisis estadístico.....51

4. Resultados.....53

4.1. Caracterización del agua residual que genera una industria cosmética, mediante el análisis de parámetros físico (turbidez) y químico (pH). 53

4.2. Aplicación de tratamientos físico-químicos utilizados para la depuración de aguas residuales provenientes de una industria cosmética. 54

4.2.1. Turbidez obtenida al aplicar los dos métodos de remediación del agua residual de una industria cosmética. 56

4.2.2. PH obtenido aplicando métodos de remediación del agua residual de una industria cosmética. 62

4.3. Propuesta de un sistema de tratamiento basado en los resultados obtenidos en la depuración de parámetros físicos y químicos del agua residual de una industria cosmética.....68

4.3.1. Objetivo de la propuesta 69

4.3.2. Desarrollo de la propuesta.....69

4.3.2.1. Trampa de grasa. 70

4.3.2.2. Tanque de coagulación-floculación.....70

4.3.2.3. Tanque de sedimentación. 71

4.3.2.4. Filtro.....71

5. Discusión.....72

5.1 Caracterización del agua residual de una industria cosmética 72

5.2 Aplicación de tratamientos físicos y químicos 72

5.3 Propuesta de un sistema de tratamiento.....74

6. Conclusiones 75

7. Recomendaciones 76

8. Bibliografía 77

9. Anexos.....83

Índice de tablas

Tabla 1. Tratamiento utilizando sulfato de aluminio y poliacrilamida 43

Tabla 2. Tratamiento utilizando policloruro de aluminio y poliacrilamida 44

Tabla 3. Caracterización del agua residual en su fase inicial 54

Tabla 4. Tratamientos utilizados en la remediación del agua residual.....54

Tabla 5. Turbidez obtenida en cada tratamiento 55

Tabla 6. Análisis de la varianza de turbidez 62

Tabla 7. Test de Tukey para la turbidez 62

Tabla 8. Resultados de los tratamientos realizados en el trabajo experimental....84

Índice de figuras

Figura 1. Mapa geográfico del sitio objeto de estudio.....24

Figura 2. Técnicas generales para la conservación de muestras 49

Figura 3. Métodos de remediación del agua residual de una industria cosmética descritos en el trabajo experimental.....51

Figura 4. Ubicación del área de estudio 53

Figura 5. Resultados de turbidez (NTU) con sulfato de aluminio al 5% 57

Figura 6. Resultados de turbidez (NTU) con sulfato de aluminio al 15% 57

Figura 7. Resultados de turbidez (NTU) con sulfato de aluminio al 25% 58

Figura 8. Resultados de turbidez (NTU) con policloruro de aluminio al 5% 59

Figura 9. Resultados de turbidez (NTU) con policloruro de aluminio al 15% 59

Figura 10. Resultados de turbidez (NTU) con policloruro de aluminio al 25% 60

Figura 11. Tratamientos más eficientes en la remoción de turbidez 61

Figura 12. Porcentaje de remoción en los tratamientos más eficientes 61

Figura 13. Resultados de pH con sulfato de aluminio al 5%.....63

Figura 14. Resultados de pH con sulfato de aluminio al 15%.....64

Figura 15. Resultados de pH con sulfato de aluminio al 25%.....64

Figura 16. Resultados de pH con policloruro de aluminio al 5%.....65

Figura 17. Resultados de pH con policloruro de aluminio al 15%.....66

Figura 18. Resultados de pH con policloruro de aluminio al 25%.....66

Figura 19. Resultados de pH con S. Al luego de la aplicación de hidróxido de sodio. 67

Figura 20. Resultados de pH con PCA luego de la aplicación de hidróxido de sodio. 68

Figura 21. Sistema de tratamiento de aguas residuales para una industria cosmética.....69
Figura 22. Actividades para el desarrollo del trabajo experimental.....85
Figura 23. Toma de muestras del agua residual de la industria cosmética.....85
Figura 24. Trampa de grasa ubicada en el interior de la industria cosmética 85
Figura 25. Alcantarilla de descarga del agua residual 85
Figura 26. Estándar fotográfico de comparación de turbidez.....85
Figura 27. Comparación de turbidez para cada experimento 85
Figura 28. Tiras reactivas de pH 85
Figura 29. Medición de pH para cada experimento 85
Figura 30. Lectura de pH para cada experimento 85
Figura 31. Solución con sulfato de aluminio (S. Al) 85
Figura 32. Solución con policloruro de aluminio (PCA).....85
Figura 33. Solución con poliacrilamida (PA).....85
Figura 34. Sustancias químicas utilizadas como solución en los tratamientos físico-químicos 85
Figura 35. Concentraciones de los tratamientos físico-químicos (coagulantes)....85
Figura 36. Concentración del floculante para cada experimento 85
Figura 37. Resultado inicial de los parámetros del agua residual.....85
Figura 38. Evidencia del resultado inicial del agua residual 85
Figura 39. Experimentos para la remediación del agua residual 85
Figura 40. Filtración del agua tratada después de aplicar los tratamientos físico-químicos 85
Figura 41. Agua tratada al 5% de sulfato de aluminio (S. Al) + PA (0.1%) 85
Figura 42. Agua tratada al 15% de sulfato de aluminio (S. Al) + PA (0.1%) 85

Figura 43. Agua tratada al 25% de sulfato de aluminio (S. Al) + PA (0.1%) 85

Figura 44. Agua tratada al 5% de policloruro de aluminio (PCA) + PA (0.1%).....85

Figura 45. Agua tratada al 15% de policloruro de aluminio (PCA) + PA (0.1%)....85

Figura 46. Agua tratada al 25% de policloruro de aluminio (PCA) + PA (0.1%)....85

Resumen

Las aguas residuales de la industria cosmética contaminan en un 85% al medio ambiente y la salud pública, generando efectos negativos al entorno natural y degradación genética de flora y fauna. Debido a esta problemática, la presente investigación llevó a cabo como objetivo evaluar los métodos para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria cosmética mediante la aplicación de procesos físico-químicos para la reducción de parámetros ambientales. Se implementaron 2 métodos para tratar el agua residual de una industria cosmética cada uno con 3 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento con dosis de coagulante tanto para el sulfato de aluminio como para el policloruro de aluminio (3, 7 y 11mL), y dosis de floculante utilizando poliacrilamida (6, 10 y 14mL), conformados por concentraciones distintas: T1 (5% Sulfato de Al + 0.1% PA), T2 (15% Sulfato de Al + 0.1% PA), T3 (25% Sulfato de Al + 0.1% PA); T4 (5% PCA + 0.1% PA), T5 (15% PCA + 0.1% PA), T6 (25% PCA + 0.1% PA, la eficacia se vio reflejada en el segundo método (PCA+PA 0.1%) para remediar el agua residual de una industria cosmética, ya que al 5%, 15% y 25% de esta mezcla el experimento arrojó un 98% de remediación, sin embargo con la última dosis al 25% dio como resultado un 95% de remediación, en cuanto al pH resulto neutro (7) mediante la neutralización con lejía (sello rojo), por lo tanto la mezcla (PCA+PA 0.1%) utilizando cualquiera de las tres concentraciones da óptimos resultados.

Palabras clave: agua residual, coagulante, floculante, remediación

Abstract

Wastewater from the cosmetic industry pollutes the environment and public health by 85%, generating negative effects on the natural environment and genetic degradation of flora and fauna. Due to this problem, the objective of this research was to evaluate the methods for the treatment of wastewater from a cosmetic industry by applying physical-chemical processes for the reduction of environmental parameters. 2 methods were implemented to treat wastewater from a cosmetic industry each with 3 treatments and 3 repetitions per coagulant dose treatment for both aluminium sulfate and aluminum polychloride (3, 7 and 11mL), and flocculant dose using polyacrylamide (6, 10 and 14mL), consisting of different concentrations: T1 (5% Al Sulfate + 0.1% PA) , T2 (15% Al Sulfate + 0.1% PA), T3 (25% Al Sulfate + 0.1% PA); T4 (5% PCA + 0.1% PA), T5 (15% PCA + 0.1% PA), T6 (25% PCA + 0.1% PA, efficiency was reflected in the second method (PCA+PA 0.1%) to remedy wastewater from a cosmetic industry, since at 5%, 15% and 25% of this mixture the experiment yielded 98% remediation, however with the last dose at 25% resulted in 95% remediation, in terms of pH it was neutral (7) by neutralizing with bleach (red seal), hence the mixture (PCA+PA 0.1%) using any of the three concentrations gives optimal results.

Key words: wastewater, coagulant, flocculant, remediation

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

A nivel mundial, los países desarrollados tratan el 70% de las aguas residuales municipales e industriales que generan (ONU, 2017). Se prevé que no abordar las aguas residuales como un importante problema social y ambiental comprometería otros esfuerzos para lograr la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (ONU, 2017).

En la Unión Europea, el alto grado de conciencia de la población sobre el cuidado del ambiente, ha alcanzado que este tipo de negocios utilice productos certificados (tintes, lacas, etc.) y que se implementen sistemas de ahorro de agua, de eficiencia energética y manejo integral de residuos (Calderón, 2015).

Los productos farmacéuticos son potenciales contaminantes del ambiente; algunos de los compuestos comúnmente utilizados en formulaciones cosméticas se han encontrado en aguas residuales, por lo cual se han realizado diversos estudios en diferentes países desarrollados con el fin de reducir o eliminar por completo este tipo de contaminación (Flores, 2007).

Latinoamérica es una región con grandes deficiencias en la gestión del agua reflejándose 34 millones de personas sin acceso al recurso hídrico y la cobertura de saneamiento está por debajo del 15 % (Marín, 2019). El cambio climático es otro gran factor que la región latinoamericana debe tomar en cuenta con seriedad para la gestión del agua, pues está provocando sequías o escasez en regiones de Centroamérica, México, Perú, Brasil, Bolivia y el Caribe, así como inundaciones severas (Marín, 2019).

La contaminación de los cuerpos de agua generada por las industrias cosméticas es un problema que aqueja, en mayor grado, a países en vía de

desarrollo y que influye en que los recursos hídricos se conviertan en no renovables (Sandoval, 2018). En México, el tratamiento de aguas residuales industriales es una limitante a la que se enfrentan las pequeñas y micro empresas, es escaso el acceso a recursos del gobierno encaminados a tratar las aguas residuales que se producen y que puedan ser reutilizadas (Sandoval, 2018).

En México, la industria cosmética consume 10% del agua total (7.3 km^3 anuales), pero la contaminación generada en base a la demanda bioquímica de oxigeno es tres veces mayor que la producida por 100 millones de habitantes, siendo esta industria una de las que genera los contaminantes de mayor impacto ambiental, esto ha dado lugar a la realización de análisis de parámetros y a la evaluación de impacto ambiental en la industria cosmética (Sandoval, 2018).

Existen pocas investigaciones encaminadas a tratar aguas residuales de las industrias cosméticas en países en vías de desarrollo con métodos físico-químicos de bajo costo que abaraten la construcción y operación de los sistemas convencionales y que puedan ser instalados en pequeñas y micro industrias (Sandoval, 2018).

Los procesos de producción de la industria cosmética en Ecuador agrupan una serie de operaciones que tienen como objetivo principal transformar las materias primas, utilizando sustancias químicas que podrían significar un riesgo al ambiente (contaminación de recursos hídricos, suelo, aire) o a la salud, por lo cual se ha tomado como remediación la aplicación de procesos físico-químicos mismos que ayudan a depurar el agua residual industrial, logrando resultados óptimos y minimizando la concentración de los contaminantes (Torres G. F., 2014).

El recurso hídrico de la República del Ecuador está sujeto a una presión de la demanda del agua para satisfacer las diversas necesidades que dependen de ella y de la desigual distribución del agua tanto en el espacio como en el tiempo (Galárraga, 2000). El uso del agua en ciertas actividades dentro de la industria cosmética da paso a la contaminación de las fuentes de suministro de agua y produce una degradación de la calidad de la misma, incrementando el número de enfermedades de tipo hídrico, efectos negativos en muchos de los casos irreversibles al ambiente y la degradación genética de fauna y flora (Galárraga, 2000).

En las ciudades de Quito y Guayaquil, se realizó hace dos años una evaluación ambiental dentro de una industria cosmética, constatando el manejo de sustancias químicas causantes del daño que reciben tanto quienes manipulan dichas sustancias en las diferentes áreas de trabajo como el entorno natural (Salazar A. , 2017).

Por tanto, el presente trabajo está enfocado en evaluar los métodos para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria cosmética del Cantón Daule, Provincia del Guayas.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

Las descargas continuas, limitan la vida acuática de los recursos hídricos, por cuanto disminuyen los contenidos de oxígeno disuelto, la industria cosmética, utiliza sustancias químicas dentro de su proceso productivo, generando agua residual con contaminación variable, en función de los ciclos de producción (Da Ros, 1995).

La problemática dentro de la industria cosmética se ha venido dando a medida que ha avanzado el proceso de producción, para lo cual no se han generado proyectos de tratamiento de aguas residuales y las medidas que se han tomado han sido mínimas, hasta el momento el 60% de las industrias cosméticas que se encuentran en Ecuador cuentan con un ente regulador (Ministerio del Ambiente), mismo que controla este problema ambiental (Da Ros, 1995).

Por tanto, el presente proyecto tiene como finalidad remediar el agua residual de una industria cosmética, disminuyendo la problemática ambiental que se da diariamente en la empresa y analizando los parámetros físico-químicos encontrados en los procesos de producción.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia de los métodos para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria cosmética mediante la aplicación de proceso físico (floculación) y químico (coagulación) para mitigar la contaminación ambiental?

1.3 Justificación de la investigación

La contaminación ambiental es causada por la elevada concentración de contaminantes que genera el agua residual de la industria cosmética, misma que presenta más del 80% de SST, Grasas y Aceites, Detergente (Arce, Calderón, & Tomasini, s.f.). Como respuesta a la remediación del agua residual de la industria cosmética, se requiere aplicar procesos físicos y químicos, con el fin de reducir impactos ambientales y de lograr un desarrollo integral sustentable (Arce, Calderón, & Tomasini, s.f.).

El proyecto de investigación aporta a la Ingeniería Ambiental, en cuanto a la remediación del agua residual de una industria cosmética, mediante la realización del análisis de parámetros físico-químicos, con la finalidad de que los procesos

utilizados (coagulación y floculación), resulten amigables con el ambiente, sin generar impactos ambientales negativos y a la vez dando lugar a la mitigación de la contaminación producida en la empresa industrial. Posteriormente este trabajo tiene pertinencia a la Ingeniería Ambiental, ya que la propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales basado en los resultados obtenidos en el análisis de parámetros físicos y químicos, soluciona el problema ambiental de la empresa mediante la remediación y depuración de dichas aguas turbias. Este proyecto es innovador porque conlleva el desarrollo de tecnologías avanzadas para el tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética incluidos los procesos físicos y químicos.

Por tanto, el proyecto está enfocado en analizar parámetros físico-químicos, para la remediación del agua residual industrial y la protección ambiental de la empresa en conjunto con la salud de los trabajadores.

1.4 Delimitación de la investigación

El presente trabajo de investigación engloba la eficacia de los procesos físico-químicos aplicados a las aguas residuales de la industria cosmética, mediante la propuesta dada para promover una mejora en cuanto al tratamiento de las aguas residuales.

- **Espacio:** El proyecto se ejecutó en una industria cosmética, ubicada en La Aurora Pesantes, Calle 22 de Julio Mz C Sl 8, Kilómetro 11.5 camino Puntilla - Pascuales, Daule, Guayas, en base a las respectivas coordenadas UTM -2.0509623,-79.877616 (Ver Figura 1).

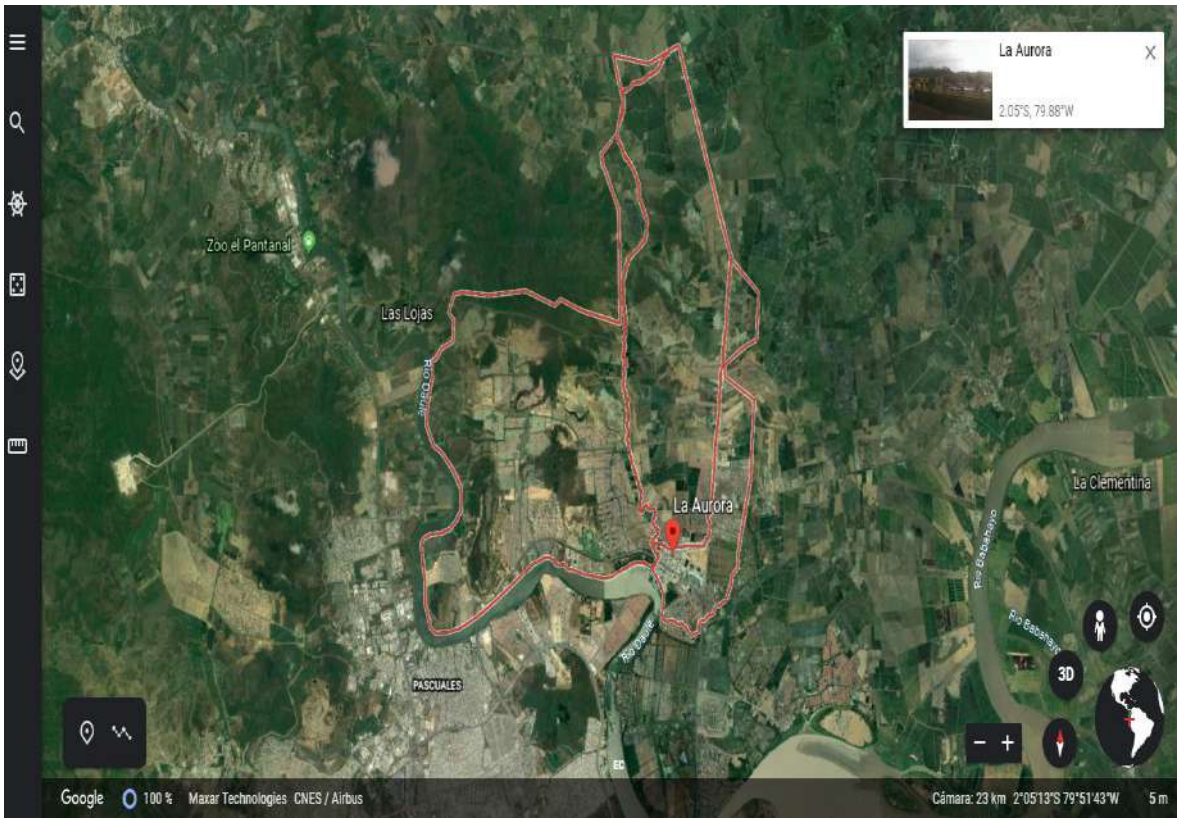

Figura 1. Mapa geográfico del sitio objeto de estudio
Fuente: Google Earth

- **Tiempo:** La ampliación del proyecto de investigación sobre la problemática ambiental en cuanto a la falta de tratamiento y mantenimiento de las aguas residuales de la industria cosmética, tuvo una duración de aproximadamente 6 meses.

1.5 Objetivo general

Evaluar los métodos para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria cosmética mediante la aplicación de proceso físico y químico para la reducción de parámetros ambientales.

1.6 Objetivos específicos

- Caracterizar el agua residual que genera la industria cosmética, mediante el análisis de parámetros físico (turbidez) y químico (pH).
- Aplicar los tratamientos físicos y químicos a utilizar para la depuración de aguas residuales provenientes de una industria cosmética.

- Proponer un sistema de tratamiento basado en los resultados obtenidos en la depuración de parámetros físicos y químicos del agua residual de una industria cosmética.

1.7 Hipótesis

Los tratamientos físico-químicos a utilizar permiten remediar el agua residual en al menos un 50%.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Las actividades dentro de una industria cosmética en el estado Carabobo se basan en la producción de Policloruro de Aluminio (PAC) destinado para el área de cosméticos y tratamiento de agua residual. Los análisis se desarrollaron en el laboratorio de análisis físico-químicos del agua, aplicando concentraciones del 5% de cada sustancia química a utilizar, para lo cual se lograron resultados eficientes removiendo contaminantes en un 85% (Ortíz, 2011).

El uso de tratamientos físico-químicos para la remediación del agua residual de una industria cosmética en la ciudad de México, DF, estuvo aplicado mediante el acoplamiento de los procesos de remediación (coagulación y floculación), para lo cual los resultados tuvieron efectos favorables, logrando en poco tiempo y con concentraciones del 15% de sustancias químicas en cada tratamiento, la remoción de contaminantes y de turbiedad en un 95% de remediación del agua residual de la industria (Zamudio, 2013).

El estudio realizado en una empresa de productos cosméticos, misma que se encuentra en la ciudad de Quito, tuvo como planteamiento el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), la cual contiene varios tratamientos entre los cuales están coagulación-floculación y neutralización de pH, logrando que dichos tratamientos de la (PTAR) alcancen como resultado una eficiencia del 95% en cuanto a la remediación del agua residual de la industria cosmética (Coral & Salvador, 2017).

Se realizó un estudio del agua residual en una industria cosmética ubicada en la ciudad de Ambato, acerca de los procesos de tratamiento existentes en la planta de tratamiento la cual mediante los procesos físico-químicos resultó capaz

de remover el 90% de contaminantes aportando así con la remediación del agua residual de la industria (Freire, 2012).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Aguas residuales

Son aquellas aguas a las cuales las actividades humanas han ido modificando sus características y que por su calidad requieren un pretratamiento, antes de ser reutilizadas, vertidas a un cuerpo hídrico o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

2.2.2 Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas conllevan en si material suspendido y disuelto orgánico e inorgánico, están subdivididas en aguas negras y aguas grises que, de acuerdo con el tipo de constituyente, se clasifican en: Convencionales (sólidos suspendidos y coloidales, materia orgánica carbonácea, nutrientes y microorganismos patógenos); No convencionales (orgánicos refractarios, orgánicos volátiles, surfactantes, metales, sólidos disueltos) y Emergentes (medicinas, detergentes sintéticos, antibióticos veterinarios y humanos, hormonas y esteroides, etc.) (Torres, 2012).

2.2.3 Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales provienen de cualquier actividad industrial en cuyo proceso de producción, trasformación o manipulación sea utilizada el agua, estas aguas requieren aquellos procesos que son usados para las aguas residuales domésticas, entre otros, sobretodo en el pretratamiento para condicionar las aguas residuales en cuanto a su tratamiento físico, químico o biológico (Orozco, 2005).

2.2.4 Aguas residuales municipales o urbanas

Las aguas residuales urbanas se generan debido a la eliminación de residuos domésticos y públicos, a la vez de aguas lluvias y del drenado de aguas pluviales transportadas por una red de alcantarillado, estas aguas agrupan componentes químicos degradables fundamentalmente diferentes, el primero está compuesto esencialmente por la DBO rápidamente degradable y el segundo por la DBO lentamente degradable (Ronzano & Dapena, 1995).

2.2.5 Aguas residuales en industria alimenticia

La industria alimentaria, con su variedad de procesos, genera un gran volúmen de residuos y consume una elevada cantidad de agua, esta industria es uno de los sectores productivos que mayor impacto tiene sobre el ambiente, ya que es en el agua donde más evidente se hace la contaminación por las grasas, proteínas, sales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos (Restrepo , 2006).

2.2.6 Aguas residuales en industria textil

La generación de agua residual en una industria de teñido para la coloración reactiva y directa se encuentra entre 15-20 galones por libra, por lo que de las 700.000 toneladas de tintes y colorantes que se producen anualmente en todo el mundo, del 10 al 15% se desechan en los efluentes provenientes de las operaciones de teñido, el impacto ambiental de sus efluentes líquidos es muy distinto, por la alta variedad de materias primas y reactivos utilizados que varían según los métodos de producción (Garcés, Hernández, Peñuela, Rodríguez, & Salazar, 2005).

2.2.7 Aguas residuales en industria láctea

Las aguas residuales de las industrias lácteas son generalmente neutras o poco alcalinas, aunque tienden comúnmente a convertirse en ácidas muy

rápidamente a causa de la fermentación del azúcar de la leche produciendo ácido láctico, sobre todo en ausencia de oxígeno y la formación simultánea de ácido butírico, los principales procesos de la industria láctea que producen residuos contaminantes son los procesos de producción de quesos, cremas y mantequilla, el lavado de torres de secado y las soluciones de limpieza alcalina (Arango & Sanches, 2009).

2.2.8 Aguas residuales en industria farmacéutica

Las aguas residuales de distintas empresas productoras de medicamentos y productos químicos descargan las aguas residuales tanto de producción como humanas con o sin tratamiento, los antibióticos son uno de los grupos de compuestos farmacéuticos que han sido encontrados en lagos y corrientes a través del mundo y la presencia de estos compuestos en el ambiente ha aumentado la toxicidad de los organismos acuáticos y de especies de bacterias con resistencia antibiótica (Ramos, 2004).

2.2.9 Aguas residuales en industria metalúrgica

Las aguas residuales metalúrgicas se generan en uno de los desechos industriales inorgánicos de mayor poder contaminante por sus características tóxicas y corrosivas, el volumen de las aguas residuales es sin duda el principal parámetro para el dimensionamiento de cualquier sistema de tratamiento físico, químico o biológico (Sun , s.f.).

2.2.10 Aguas residuales en industria petroquímica

Los efluentes industriales petroquímicos están constituidos por componentes orgánicos altamente contaminantes por lo que requieren de tratamientos que permitan la degradación completa de estas moléculas, se han logrado tratar dichos efluentes por medio de procesos convencionales resultando poco efectivos

por la complejidad de los contaminantes, por lo cual se da paso a la implementación de nuevas tecnologías (Cuesta, 2019).

2.2.11 Aguas residuales en industria química

El tratamiento del agua residual en la industria química es una problemática muy compleja debido a la gran variedad de sustancias químicas y sus niveles de concentración, la contaminación del agua es un impacto ambiental de gran importancia ya que los contaminantes pueden acumularse y transportarse tanto por las aguas superficiales como subterráneas para las cuales la fuente principal de daño son las aguas residuales municipales e industriales (Garcés, Mejía, & Santamaría, s.f.).

2.2.12 Aguas residuales en industria cosmética

La industria cosmética utiliza una gran variedad de sustancias químicas para el proceso de elaboración de los productos de cuidado e higiene personal detectados en aguas residuales, estas sustancias químicas son consideradas como contaminantes persistentes, ya que se liberan continuamente en cualquier cuerpo hídrico, afectando de manera directa al ambiente y aumentando la existencia de los contaminantes presentes en el agua residual (Soler, 2016).

2.2.13 Caracterización de las aguas residuales

Para la caracterización del agua residual se emplean tanto métodos de análisis cuantitativos, para la determinación precisa de la composición química del agua residual, como análisis cualitativos para el conocimiento de las características físicas, la cantidad y calidad de las aguas residuales son determinadas por varios factores, no todos los seres humanos o industrias generan la misma cantidad de residuos (Lopez, Buitrón, Cervanes, & Hernández, 2017).

Los contaminantes del agua en función a la calidad o las características del agua se clasifican en físicos y químicos. Estas impurezas por el lado de las características químicas deben su origen a contaminantes orgánicos e inorgánicos (Raffo & Ruiz, 2014).

Los contaminantes orgánicos dan como resultado la disminución del oxígeno, producto de la degradación biológica de los compuestos. En el caso de los contaminantes inorgánicos, el resultado es su posible efecto tóxico (Raffo & Ruiz, 2014).

2.2.14 Componentes principales del agua residual

Las concentraciones que se generan en las aguas residuales son una mezcla de la carga contaminante y de la cantidad de agua que se disuelve con el contaminante, la composición de las aguas residuales varía de una ubicación a otra, incluso en una ubicación determinada la composición varia con el tiempo, esto es debido en parte a las variaciones en las cantidades de las sustancias vertidas (detergente, aceites y grasas, entre otros) (Lopez, Buitrón, Cervanes, & Hernández, 2017).

2.2.15 Componentes especiales del agua residual y procesos

La mayoría de los compuestos que se encuentran en las aguas residuales no son el objeto principal del tratamiento, pero contribuyen a la toxicidad de las aguas residuales, ya sea en relación a los procesos físicos, químicos o biológicos de tratamiento o a las aguas receptoras (Lopez, Buitrón, Cervanes, & Hernández, 2017).

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta, otras características físicas

importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad (Raffo & Ruiz, 2014). El estudio de las características químicas de las aguas residuales se aborda en los siguientes cuatro apartados: la materia orgánica, la medición del contenido orgánico, la materia inorgánica, y los gases presentes en el agua residual (Raffo & Ruiz, 2014).

2.2.16 Coagulación

Según Castillo & Gómez (2012) “La coagulación es un proceso que permite el aumento de la tendencia de partículas de integrarse unas a otras para formar partículas mayores y así precipitar rápidamente”.

2.2.17 Floculación

Proceso que es realizado después de la coagulación, consiste en agitar la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con el fin de incrementar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad, estos flóculos inicialmente pequeños, forman al unirse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar (Andía, 2000).

2.2.18 Filtración

Este proceso consiste en remover partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua residual, la filtración es la operación final que se realiza para la clarificación del agua tratada, siendo el proceso principal responsable de la producción de agua limpia y de calidad coincidente con los estándares de potabilidad (Maldonado , 2004).

2.2.19 Neutralización

Según Ures, Jácome, & Suárez (2014) “Es un proceso de ajuste de pH del agua por medio de la adición de un ácido o una base, dependiendo del pH objetivo y de otros requerimientos de proceso”.

2.2.20 Sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio es una sustancia química que se utiliza comúnmente en la remediación de agua residual, para mitigar la contaminación ambiental, se lo utiliza principalmente como agente coagulante en cuanto a procesos físico-químicos, a la vez el sulfato de aluminio o sulfato de alumina es la sal del aluminio en forma granular y de color blanquecina o marrón, este coagulante es efectivo en eliminar contaminantes del agua residual (Sánchez, s.f.).

2.2.21 Policloruro de aluminio

El policloruro de aluminio debido a su gran aporte en el tratamiento de las aguas residuales, ha logrado formar parte de una de las sustancias químicas más utilizadas como coagulante o floculante y con mayor significancia para la depuración de aguas residuales (Vanloot, Branger, Margaillan, Brach-Papa, Boudenne, & Coulomb, 2007).

2.2.22 Poliacrilamida

La poliacrilamida se utiliza como floculante para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, mismas que pueden llegar a ser vertidas al ambiente de manera negativa siendo causantes del impacto y degradación ambiental, el proceso de adsorción de esta sustancia química ocurre rápidamente, obteniendo un alto nivel de adsorción dentro del agua residual a tratar (Hennecke, Bauer, Herrchen, Wischerhoff, & Gores, 2018).

2.2.23 Ácido

El ácido es la sustancia más débil en términos de la naturaleza del elemento químico que contiene dicha sustancia, un ácido es una sustancia que contiene una parte de hidrógeno y otra de oxígeno, la cual puede ser sustituida por un metal y que a la vez puede neutralizar las bases, en la reacción de neutralización

los ácidos y las bases reaccionan para formar una sal (Ouertatani, Dumon, Trabelsi, & Soudani, 2006).

2.2.24 Base

Una base contiene un par de electrones susceptibles de ser compartidos para formar una conexión de covalencia, la base es una sustancia alcalina ya que al estar en disolución aumenta la concentración de iones hidroxilos estableciendo combinaciones con los ácidos para el desarrollo de sales (Ouertatani, Dumon, Trabelsi, & Soudani, 2006).

2.2.25 Sello rojo "Lejía escama"

Es una sustancia química que contiene doble poder de acción debido a que limpia y destapa cañerías y desagües, destapa rápidamente la obstrucción, descomponiendo materiales orgánicos tales como papel, pelos, grasas, colilla de cigarrillos y desechos humanos, a la vez sirve como un purificador apto para todo tipo de aguas residuales (Recalde & Sánchez , 2020).

2.2.26 Turbidez alta

Las aguas altamente turbias contienen sólidos finos suspendidos por lo que resultan problemáticas debido a su baja velocidad de sedimentación y debido a que las partículas finas (<50 µm) pueden causar una pobre separación sólido-líquido durante la sedimentación, para esto la coagulación y la floculación se usan comúnmente con la finalidad de eliminar la turbidez del agua y las aguas residuales (Onen, Beyazyuz, & Yel, 2017).

2.2.27 Turbidez media

Las aguas medianamente turbias suelen contener cierta cantidad de solidos finos suspendidos, así como de sal en proporciones medias, por lo tanto el agua

residual estaría mucho menos contaminada, pero aún con concentración de turbidez a tratar para una óptima remediación (Onen, Beyazyuz, & Yel, 2017).

2.2.28 Turbidez baja

El aumento de la salinidad produce turbidez baja, ya que la sal inhibe el crecimiento de las poblaciones de bacterias nitrificantes que generan turbidez. Mientras menos sólidos en suspensión existan, menos “sucia” aparecerá el agua residual y más baja será la turbidez (Bragado Alcaraz, 2017).

2.2.29 Parámetros físico-químicos del agua residual industrial

Abordar en la calidad de aguas, sean estas para su vertido, tratamiento de depuración, potabilización o cualquier otro uso, es imprescindible para determinar una serie de parámetros físico-químicos mediante métodos normalizados, con objeto de conocer si el valor de estos parámetros se encuentra dentro del intervalo que marca la legislación vigente (Aznar, 2000).

2.2.29.1 Turbidez

Según González (2011) “Es la medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, a la vez brinda como resultado la claridad que pueda llegar a tener el agua”.

2.2.29.2 pH

El pH es el potencial de hidrógeno, es una medida para determinar el grado de alcalinidad o acidez de una disolución, con el pH determinamos la concentración de hidrogeniones en una disolución, un hidrogenión es un ion positivo de Hidrógeno. El pH normalmente se mide en una escala de 1 a 14, siendo el uno el valor más ácido y el 14 el valor más alcalino, por último el 7 sería el valor neutro (Olarte Romero, 2017).

2.2.30 Tratamiento de aguas residuales

Los tratamientos a los que se deben someter los efluentes tienen que garantizar la eliminación o la recuperación del compuesto orgánico, la aplicación de cualquier tipo de método depende fundamentalmente de la concentración del contaminante y del caudal del efluente (Rodie, 1987).

2.2.30.1 Niveles de tratamiento de aguas residuales

Los Tratamientos para las aguas residuales, pueden ser reconocidos en base a la ubicación que tengan dentro del proceso de limpieza, como primarios, secundarios y avanzados, los últimos tienen una finalidad muy explícita, pero a la vez se pueden analizar ciertos sistemas disyuntivos que forman parte crucial en el diseño de depuración de agua residual (Rodie, 1987).

2.2.30.1.1 Tratamiento primario

Según Rodie (1987) “Los sistemas primarios son los más simples en cuanto a la limpieza del agua y conllevan la función de preparar el agua, saneándola de todas aquellas partículas cuyas dimensiones puedan obstruir o dificultar los procesos posteriores”.

2.2.30.1.2 Tratamiento secundario

Este nivel de tratamiento tiene como finalidad sanear el agua de aquellas impurezas cuyo tamaño es mucho más pequeño a las que se pueden captar por la decantación y las rejillas, para ello, los sistemas se basan en métodos mecánicos y biológicos combinados (Rodie, 1987).

2.2.30.1.3 Tratamiento terciario

Este tratamiento consiste en un proceso físico-químico que utiliza la precipitación, la filtración y/o la cloración para minimizar considerablemente los niveles de nutrientes inorgánicos, en especial los fosfatos y nitratos del efluente

final. El agua residual que recibe un tratamiento terciario óptimo no permite el desarrollo microbiano (Rodie, 1987).

2.2.31 Métodos de tratamiento de aguas residuales

Los métodos de tratamiento ya sean físicos, químicos o biológicos, pueden ser una mejora para la calidad de las aguas residuales y por ende proteger el ambiente, debido a que la calidad del efluente es más óptima, la eficiencia de estos métodos ayuda a reducir aguas contaminadas por medio de tecnologías avanzadas que permitan eliminar concentraciones de contaminantes presentes en el recurso hídrico con el fin de que este pueda ser reutilizado (Ghafari & Khezri, 2012).

2.3 Marco legal

2.3.1 Ley de la Constitución de la República Del Ecuador (2008)

Título II
Derechos
Capítulo segundo
Derechos del buen vivir
Sección primera
Agua y alimentación
Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.
Sección segunda
Ambiente sano
Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

2.3.2 Convenios y protocolos internacionales

Convenio sobre prevención de la contaminación del mar por vertidos de desechos y otras materias
Londres-México-Moscú-Washington 29-12-72
Se reconoce que el medio marino y los organismos que mantiene son de vital importancia para la humanidad, por eso es interés utilizarlo de forma que no se perjudiquen ni su calidad ni sus recursos.

Protocolo complementario del acuerdo sobre cooperación regional para el combate contra la contaminación del pacífico sudeste por hidrocarburos y otras sustancias nocivas
Quito-Ecuador 22-07-1983
Las altas partes contratantes
RECONOCIENDO que el Acuerdo sobre la Cooperación Regional para el Combate contra la Contaminación del Pacífico Sudeste por Hidrocarburos y otras Sustancias Nocivas en Casos de Emergencia establece principios generales en la materia;
CONSIDERANDO que es necesario complementar esas normas, precisando los mecanismos de cooperación que operarían cuando un derrame masivo de hidrocarburos supere la capacidad individual de un país para enfrentarlo, así como los planes de contingencia que cada país debería establecer;
TENIENDO presente que el alto costo de las medidas que deberían adoptarse exigen un aprovechamiento racional de equipos, material fungible y expertos que acrecienten la posibilidad de poner en práctica la asistencia externa;
Acuerdan:
El Protocolo Complementario del Acuerdo sobre la Cooperación Regional para el Combate contra la Contaminación del Pacífico Sudeste por Hidrocarburos y otras Sustancias Nocivas en Casos de Emergencia.

2.3.3 Leyes y códigos

Ley Orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua
Título I
Disposiciones preliminares
Capítulo I
De los principios
Artículo 4.- Principios de la Ley. Esta Ley se fundamenta en los siguientes principios:
b) El agua, como recurso natural debe ser conservada y protegida mediante una gestión sostenible y sustentable, que garantice su permanencia y calidad;
c) El agua, como bien de dominio público, es inalienable, imprescriptible e inembargable;
h) La gestión del agua es pública o comunitaria.
Código Orgánico del Ambiente COA (2017)
Código Orgánico del Ambiente (COA)
Libro preliminar
Título II
De los derechos, deberes y principios ambientales
Art. 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano. El derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende:
4. La conservación, preservación y recuperación de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico;
6. La prevención, control y reparación integral de los daños ambientales;
10. La participación en el marco de la ley de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, en toda actividad o decisión que pueda producir o que produzca impactos o daños ambientales;
12. La implementación de planes, programas, acciones y medidas de adaptación para aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad ambiental,

social y económica frente a la variabilidad climática y a los impactos del cambio climático, así como la implementación de los mismos para mitigar sus causas.

Título IV

Gestión integral nacional de sustancias químicas

Art. 211.- De la gestión integral de sustancias químicas. La Autoridad Ambiental Nacional ejercerá la rectoría de la gestión integral de sustancias químicas a través de la emisión de políticas y lineamientos.

Art. 219.- Tenencia de sustancias químicas peligrosas. Las sustancias químicas peligrosas solo podrán almacenarse, transportarse y distribuirse con la autorización administrativa correspondiente. Se prohíbe todo contacto de sustancias químicas peligrosas con alimentos, medicina, vestimenta y otros artículos que pongan en riesgo la salud o la integridad del ambiente.

2.3.4 Decretos y reglamentos

Decreto ejecutivo 650

Reglamento ley recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua

Libro primero

Sistema Nacional Estratégico del Agua

Título I

La Autoridad Única del Agua

Capítulo I

La Secretaria del Agua

Art. 6.- De los Subprocesos.- Los subprocesos de la administración del servicio público del agua comprenden aquellas actividades relacionadas con la provisión de agua potable y saneamiento ambiental, en los términos indicados en el artículo 37 de la ley.

Libro tercero

Autorizaciones

Título I

Disposiciones generales

Capítulo II

Autorizaciones de uso de agua y para el aprovechamiento productivo de agua

Art. 92.- Obligaciones y derechos del titular de la autorización para el aprovechamiento productivo del agua.- La autorización para el aprovechamiento productivo del agua confiere a su titular de manera exclusiva la capacidad para la captación, tratamiento, conducción y utilización del caudal a que se refiera la autorización.

2.3.5 Acuerdo, Resoluciones y Normas Secundarias

Acuerdo Ministerial 061 (2015)

Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

De la calidad ambiental

Sección III

Parágrafo I

Del agua

Art. 209 De la calidad del agua.- Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua y la hacen apta para

satisfacer la salud, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico. La evaluación y control de la calidad de agua, se la realizará con procedimientos analíticos, muestreos y monitoreos de descargas, vertidos y cuerpos receptores.

Acuerdo Ministerial 097 A (2015)

Anexo 1

Del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua

Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua

Desarrollo

La norma tendrá en cuenta los siguientes usos del agua:

a) Consumo humano y uso doméstico.
b) Preservación de la vida acuática y silvestre.
c) Uso Agrícola o de riego.
d) Uso Pecuario.
e) Uso Recreativo.
f) Uso Estético.

Criterios de calidad para aguas de uso estético

El uso estético del agua se refiere al mejoramiento y creación de la belleza escénica.

Las aguas que sean usadas para uso estético, tendrán que cumplir con los siguientes criterios de calidad:

a) Ausencia de material flotante y de espumas provenientes de la actividad humana.
b) Ausencia de grasas y aceites que formen película visible.
c) Ausencia de sustancias productoras de color, olor, sabor, y turbiedad no mayor al 20% de las condiciones naturales de turbiedad en UTN.
d) El oxígeno disuelto será no menor al 60% del oxígeno de saturación.

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169

Las aguas, particularmente las aguas superficiales y sobre todo las aguas residuales, son susceptibles a cambios en diferente grado como resultado de las reacciones físicas, químicas o biológicas, las cuales tienen lugar desde el momento del muestreo al comienzo del análisis.

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

Investigación documental: Este tipo de investigación es la que se realiza, como su nombre lo indica, apoyándose en fuentes de carácter documental, esto es, en documentos de cualquier especie (Leyton, 2012). El presente estudio se refuerza mediante fuentes bibliográficas, libros, artículos científicos y de revisión, a la vez está basado en una amplia investigación teórica con el fin de obtener el conocimiento deseado en cuanto al sitio objeto de estudio y cómo intervienen los procesos físico-químicos en la depuración y clarificación del agua residual de una industria cosmética.

Investigación de campo y laboratorio: Esta clasificación distingue entre el lugar donde se desarrolla la investigación, si las condiciones son las naturales en el terreno de los acontecimientos se tiene una investigación de campo, en cambio sí se crea un ambiente artificial, para realizar la investigación, sea un aula laboratorio, un centro de simulación de eventos, entre otros, se está ante una investigación de laboratorio (Leyton, 2012). Este tipo de investigación se realizó en base a la observación del investigador de manera directa en la industria cosmética, Cantón Daule, Provincia del Guayas.

Investigación experimental: Obtiene su información de la actividad intencional, realizada por el investigador y que se encuentra dirigida a modificar la realidad con el propósito de crear el fenómeno mismo que se indaga y así poder observar los resultados, al tiempo que procura evitar, que otros factores intervengan en la observación, es aquella que permite con más seguridad establecer relaciones de causa a efecto (Leyton, 2012). El trabajo de investigación

es experimental ya que en el mismo se utilizaron diversos tipos de tratamientos para la elección del método más eficiente, posteriormente se procedió a manipular el fenómeno causal a tratar.

3.1.2 Diseño de investigación

El presente trabajo de investigación experimental, tiene como objetivo evaluar los métodos para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria cosmética mediante la aplicación de procesos físico-químicos, para ello las muestras fueron analizadas de manera in-situ en las instalaciones de un estudio de análisis, en el cual se determinaron los parámetros físicos y químicos antes de ejecutar el diseño experimental, dejando expuestos los resultados a través de modelos estadísticos.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1 Variable independiente

- Dosis de coagulante (sulfato de aluminio, policloruro de aluminio)
- Dosis de floculante (poliacrilamida)

3.2.1.2 Variable dependiente

- Turbidez (NTU) inicial y final
- pH inicial y final

3.2.2 Tratamientos

En la Tabla 1 se muestran los 3 tratamientos físico-químicos de coagulación-floculación mediante el primer método, agregando las respectivas dosificaciones (3, 7 y 11mL de Sulfato de Al) y (6, 10 y 14mL de PA) a distintas concentraciones (5, 15 y 25% de Sulfato de Al), porcentajes que estuvieron basados en las tres replicas aplicadas en el primer método de remediación, la concentración agregada

del floculante (poliacrilamida) no tuvo variación alguna ya que en cada tratamiento se aplicó solamente el 0.1%, teniendo como finalidad evaluar si resulta ser este método el más eficiente para la remediación del agua residual de una industria cosmética, a la vez se tuvo como referencia tres muestras testigo las cuales ayudaron a constatar aquellos cambios que se iban generando en ambos métodos a medida en que se aplicaban los tratamientos de depuración del agua residual.

Tabla 1. Tratamiento utilizando sulfato de aluminio y poliacrilamida

No.	Tratamientos	Descripción	Concentración	Dosis (mL)	Réplicas
0	Muestra testigo	Sin aplicar	0	0	0
1	Coagulación-Floculación	Sulfato de Al-PA	5%-0.1%	3, 7, 11-6, 10, 14	3
2	Coagulación-Floculación	Sulfato de Al-PA	15%-0.1%	3, 7, 11-6, 10, 14	3
3	Coagulación-Floculación	Sulfato de Al-PA	25%-0.1%	3, 7, 11-6, 10, 14	3

Esparza, 2020

En la Tabla 2 se muestran los 3 tratamientos físico-químicos de coagulación-floculación mediante el segundo método, en este caso varía el coagulante utilizado (Policloruro de Aluminio) para luego realizar cierta comparación, para esto, se agregaron las respectivas dosificaciones (3, 7 y 11mL de PCA) y (6, 10 y 14mL de PA) a distintas concentraciones (5, 15 y 25% de PCA) porcentajes que estuvieron basados en las tres replicas aplicadas en el segundo método de remediación, la concentración agregada del floculante (poliacrilamida) no tuvo variación alguna ya que en cada tratamiento se aplicó solamente el 0.1%, teniendo como finalidad evaluar si resulta ser este método el más eficiente para la remediación del agua residual de una industria cosmética.

Tabla 2. Tratamiento utilizando policloruro de aluminio y poliacrilamida

No.	Tratamientos	Descripción	Concentración	Dosis (mL)	Réplicas
4	Coagulación-Floculación	PCA-PA	5%-0.1%	3, 7, 11-6, 10, 14	3
5	Coagulación-Floculación	PCA-PA	15%-0.1%	3, 7, 11-6, 10, 14	3
6	Coagulación-Floculación	PCA-PA	25%-0.1%	3, 7, 11-6, 10, 14	3

Esparza, 2020

3.2.3 Diseño experimental

En el proyecto de investigación se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), mismo que fue empleado para manipular simultáneamente dos o más variables independientes o de tratamiento (Gasga, 2004). El diseño completo al azar en cuanto a la cantidad de factores o variables de tratamiento, fue flexible debido al número de tratamientos y de repeticiones ya que solo estuvo limitado por el número de unidades experimentales disponibles (Gasga, 2004).

El objetivo es evaluar la eficiencia de los diferentes métodos de remediación que se utilizaron, y sus porcentajes en muestras de aguas residuales, tomadas en una industria cosmética, Cantón Daule, Provincia del Guayas.

3.2.4 Recolección de datos

El muestreo del agua residual, que se genera en la industria cosmética, se tomó al azar dentro de la empresa para lo cual, la norma INEN 2169 indica el manejo y la conservación de las muestras, por tanto fue preferible reservar un juego de recipientes para las determinaciones especiales de forma que se reduzcan al mínimo los riesgos de contaminación cruzada (INEN, 2013).

En el manejo y conservación de muestras para análisis biológico se debe tener en cuenta el efecto de los conservantes en cuanto a la pérdida de microorganismos, cabe recalcar que el manejo de muestras para examinación biológica es diferente al usado con muestras para análisis químico (INEN, 2013).

La preparación de recipientes para análisis químicos de agua residual, requiere lavar los recipientes nuevos con el fin de minimizar la contaminación de la muestra; el tipo de limpiador usado y el material del recipiente varían de acuerdo a los constituyentes a ser analizados, en muestras que se van a utilizar para la determinación de parámetros físicos y químicos, llenar los frascos completamente y taparlos de tal forma que no exista aire sobre la muestra (INEN, 2013).

Las muestras se deben guardar a temperaturas más bajas que la temperatura a la cual se recolectó, los recipientes no se deben llenar completamente, la materia en suspensión, los sedimentos, las algas y otros microorganismos deben ser removidos en el momento de tomar la muestra o inmediatamente después por filtración a través de papel filtro, membrana filtrante o por centrifugación (INEN, 2013).

Los recipientes que contienen las muestras deben ser protegidos y sellados de manera que no se deterioren o se pierda cualquier parte de ellos durante el transporte, al arribo al laboratorio, las muestras deben, si su análisis no es posible inmediatamente, ser conservadas bajo condiciones que eviten cualquier contaminación externa y que prevengan cambios en su contenido, los recipientes que contienen las muestras deben estar marcados de una manera clara y permanente, que en el laboratorio permita la identificación sin error (INEN, 2013).

3.2.4.1 Recursos

Materiales

- Probeta 500mL y 1000mL
- Mascarillas
- Guantes
- Internet

- Libros
- Jeringas
- Botellas de plástico de polietileno 300mL, 1L y 2L
- Mandil
- Papel de rótulo
- Papel absorbente
- Lápiz
- Cuaderno
- Cooler
- Espátula
- Hielo
- Muestras del agua residual
- Estándar fotográfico
- Tiras reactivas de pH

Equipos

- Balanza de precisión (Gramera)
- Laptop
- Celular
- Impresora

Reactivos

- Sulfato de aluminio
- Policloruro de aluminio
- Poliacrilamida
- Hidróxido de sodio (lejía-sello rojo)

3.2.4.2 Métodos y técnicas

Se dio inicio al trabajo experimental con la toma de muestras de agua residual, mismas que en su totalidad contenían 6 litros, este muestreo fue realizado en periodos distintos para que así no exista variación alguna en cuanto a la composición del agua residual y a los parámetros ambientales. Cada una de las muestras fue tomada de la trampa de grasa que se encuentra en una industria cosmética del cantón Daule, provincia del Guayas, (Ver Figura 23). El muestreo del agua residual se realizó en base a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169, la cual indica cómo manejar y conservar cada muestra.

3.2.4.2.1 Método para medir la dosis de sustancias químicas

Las dosificaciones adecuadas se determinaron mediante la realización del test de jarras, dependiendo primordialmente de las condiciones de turbiedad del agua residual, la dosis óptima que se obtiene para cada muestra de agua residual se debe al valor de turbiedad, misma que tiene valores ínfimos de turbidez en el agua tratada (Cogollo, 2010).

3.2.4.2.2 Método para medir turbidez

Según Ceibas (2017) “Las lecturas pueden realizarse empleando la comparación de un estándar fotográfico con las muestras, para así, proceder a la elaboración del respectivo cálculo de los resultados obtenidos”. El proceso utilizado para este parámetro fue la coagulación-floculación, para lo cual se agregaron las sustancias químicas descritas en la Tabla 1 y Tabla 2, definidas entre distintas dosis y a diferentes concentraciones, en los respectivos recipientes que contenían el agua residual a tratar.

A continuación, se muestra la ecuación empleada para obtener la eficiencia en porcentaje.

$$E=\frac{T_0-Tf}{T_0}*100$$

Dónde:

E= Eficiencia en porcentaje

T_0= Turbidez inicial

T_f= Turbidez final

3.2.4.2.3 Método para medir pH

El potencial de hidrogeno inicial y final, fue determinado mediante el uso de tiras reactivas de pH, introduciendo estas tiras de medición en el agua residual de la industria cosmética y agitando en un tiempo determinado de 5 minutos llevando a cabo la estabilización de las lecturas obtenidas (Aznar, 2000). El proceso utilizado para este parámetro fue la coagulación-floculación, agregando las mismas sustancias químicas descritas en la Tabla 1 y Tabla 2, definidas entre distintas dosis y a diferentes concentraciones, en cada uno de los recipientes que contenían el agua residual.

En la Figura 2 se muestran los parámetros físicos y químicos mismos que fueron tomados como referencia en el trabajo de investigación, estos son: turbidez y pH, en donde indica la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169 que tipo de envase se debe utilizar para cada parámetro, el volumen del envasado, la técnica de preservación y tiempo de conservación, sirviéndome estos datos en la obtención de resultados dentro del estudio elaborado.

Parámetro	Tipo de recipiente V, vidrio; P, plástico; VB, vidrio borosilicatado	Volumen típico (ml) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado de preservación antes del análisis después de la conservación	Comentarios
Turbiedad	P o V	100	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C. Mantener las muestras almacenadas en la oscuridad.	24 h	Preferiblemente llevar a cabo en el campo.
pH	P o V Llenar contenedor completamente para excluir el aire.	100	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	6 h	La prueba debe llevarse a cabo tan pronto como sea posible y, preferentemente, inmediatamente en el lugar después del muestreo.

Figura 2. Técnicas generales para la conservación de muestras
Fuente: INEN (NTE INEN 2169)

A continuación se muestran las actividades que se ejecutaron para cumplir con cada objetivo definido dentro del trabajo de investigación.

3.2.4.2.4 Caracterización del agua residual

Dentro de esta actividad, la cual estuvo basada en caracterizar el agua residual de una industria cosmética, se procedió a realizar una serie de análisis de cada parámetro físico (turbidez) y químico (pH), logrando determinar estos parámetros tanto en su fase inicial como en su fase final.

3.2.4.2.5 Aplicación de tratamientos físico-químicos

Se aplicaron 2 métodos de coagulación-floculación (Sulfato de Al+PA y PCA+PA) para remediar el agua residual de una industria cosmética cada uno constituido por 3 tratamientos (Ver Figura 35), y 3 repeticiones con dosis de coagulante tanto para el sulfato de aluminio como para el policloruro de aluminio (3, 7 y 11mL) y dosis de floculante utilizando poliacrilamida (6, 10 y 14mL), para esto las sustancias químicas ya habían sido disueltas en agua potable, el Sulfato de Al y el PCA se disolvieron en 500 y 1000mL, mientras que la poliacrilamida se disolvió para las 3 réplicas de cada tratamiento en 1000mL (Ver Figura 36), dichos

tratamientos estuvieron conformados por concentraciones distintas: T1 (5% Sulfato de Al + 0.1% PA), T2 (15% Sulfato de Al + 0.1% PA), T3 (25% Sulfato de Al + 0.1% PA); T4 (5% PCA + 0.1% PA), T5 (15% PCA + 0.1% PA), T6 (25% PCA + 0.1% PA). La aplicación de estos tratamientos estuvo encaminada a remediar el agua residual en al menos un 50%, sin embargo se logró un porcentaje mucho más alto que el esperado (98%) y por ende una remediación efectiva.

3.2.4.2.6 Diagrama de proceso o de flujo

El agua residual de una industria cosmética fue agregada a recipientes de polietileno con capacidad de 300mL a los cuales se les aplicó solo 150mL de dicha agua residual, para esto ya se habían preparado las distintas soluciones tanto de los coagulantes (PCA y Sulfato de Al) como del floculante (PA), las cuales fueron envasadas en recipientes de polietileno con capacidad de 1 y 2L, luego se procedió a realizar el proceso de coagulación generando una mezcla rápida de reacciones físicas y químicas en el lapso de dos minutos para desestabilizar las cargas de la materia coloidal, posteriormente en los mismos recipientes de polietileno se aplicó el proceso de floculación, después se filtró el agua tratada logrando obtener agua clarificada y de calidad, finalmente se analizó dicha agua en cada proceso de remediación realizando las mediciones de los parámetros físico (turbidez) y químico (pH) en su fase final ya que su fase inicial se la obtuvo antes de realizar cada uno de los procesos mencionados (Ver Figura 3).

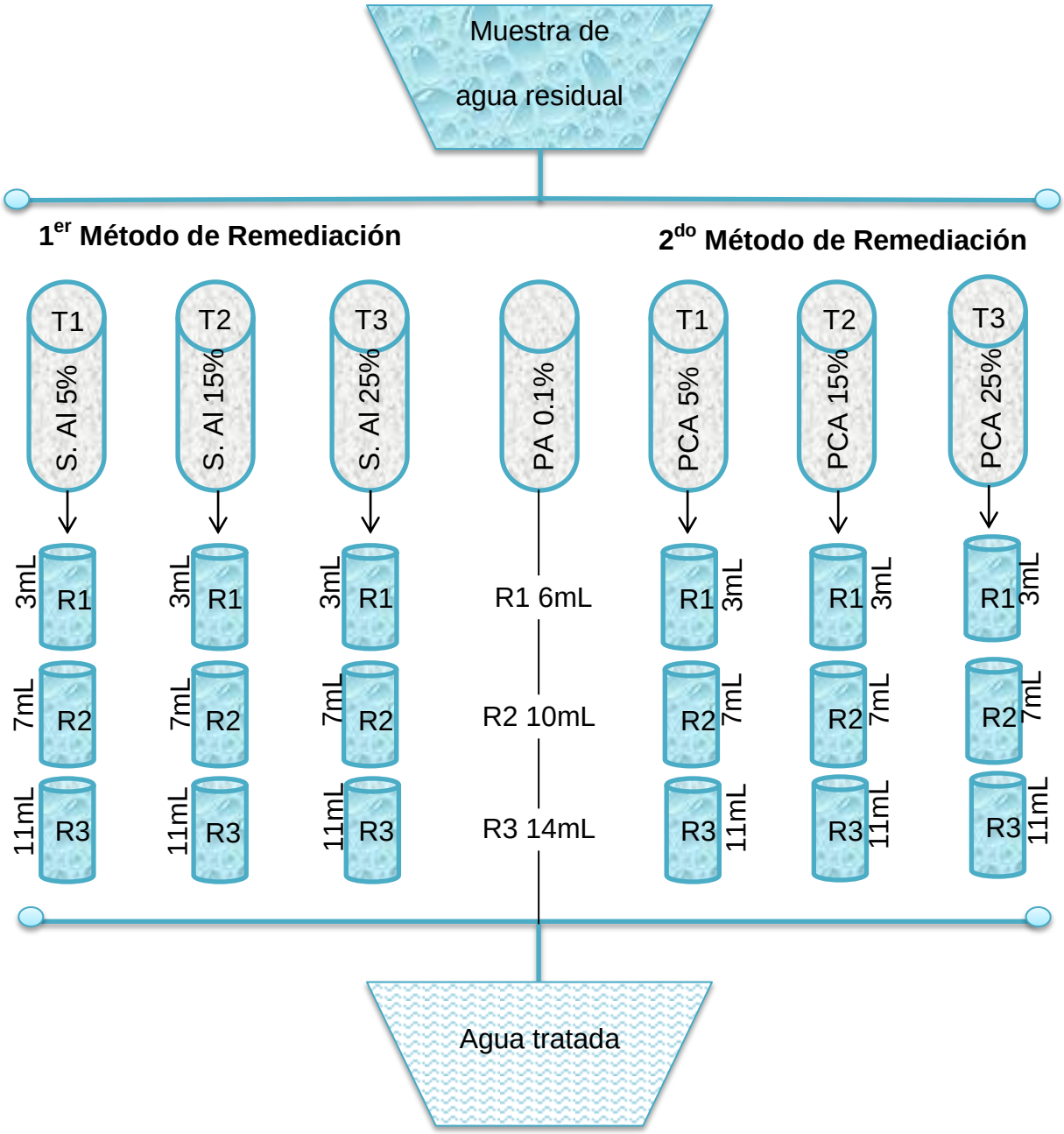

Figura 3. Métodos de remediación del agua residual de una industria cosmética descritos en el trabajo experimental
Esparza, 2020

3.2.5 Análisis estadístico

Se aplicó estadística descriptiva en el trabajo de investigación, mediante la cual se analizaron los datos obtenidos, extrayendo conclusiones con un valor de significancia solo para tales datos, para la ejecución de este análisis se procedió a recolectar y representar la información recaudada (Salazar & Del Castillo, 2017).

También se aplicó estadística inferencial mediante la prueba del ANOVA utilizando el software infostat, la cual consiste en comparar la distribución de una variable continua normal en más de dos niveles, el análisis de la varianza (ANOVA) es una agrupación de modelos estadísticos y sus pasos se relacionan de manera continua entre sí, en este tipo de análisis estadístico la varianza está separada en diversos componentes debido a distintas variables explicativas (Zubcoff, 2007).

H_0 = La eficiencia de los 2 métodos para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria cosmética, es igual.

H_A = La eficiencia de los 2 métodos para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria cosmética, es diferente.

4. Resultados

4.1. Caracterización del agua residual que genera una industria cosmética, mediante el análisis de parámetros físico (turbidez) y químico (pH).

Se realizó la toma de tres muestras puntuales en la trampa de grasa de una industria cosmética del cantón Daule, provincia del Guayas (Ver Figura 4).

Figura 4. Ubicación del área de estudio
Fuente: Google Earth

El análisis de los parámetros físico-químicos en su fase de inicio fueron realizados con el fin de conocer el estado del agua residual previo a la aplicación de los tratamientos que se proponen en el presente estudio (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Caracterización del agua residual en su fase inicial

Parámetro	Unidad de medida	Resultado (fase inicial)
Turbidez	NTU	100
pH	-	6

Esparza, 2020

4.2. Aplicación de tratamientos físico-químicos utilizados para la depuración de aguas residuales provenientes de una industria cosmética.

Se implementaron 2 métodos para tratar el agua residual de una industria cosmética cada uno con 3 tratamientos y 3 repeticiones con dosis tanto de los coagulantes como del floculante, conformados por concentraciones distintas (5, 15 y 25%) de soluciones (Ver Tabla 4), mismas que fueron elaboradas con las sustancias químicas utilizadas como coagulante (sulfato de aluminio y policloruro de aluminio) y como floculante (poliacrilamida) mezcladas con agua potable.

Los tratamientos físico-químicos que se realizaron en el trabajo experimental fueron coagulación-floculación, seguidos de la filtración y neutralización; esto para luego realizar la comparación del método más eficiente en la remediación del agua residual, tomando en cuenta el resultado obtenido de cada parámetro en cuanto al análisis ejecutado (Ver Tabla 5).

Tabla 4. Tratamientos utilizados en la remediación del agua residual

N°	Tratamiento	Concentraciones	Dosis de coagulante (mL)	Dosis de floculante (mL)	Réplicas
1	Sulfato de aluminio+0.1%PA	5%	3	6	3
		15%	7	10	3
		25%	11	14	3
2	Policloruro de aluminio+0.1%PA	5%	3	6	3
		15%	7	10	3
		25%	11	14	3

Esparza, 2020

A continuación, se presentan los resultados de turbidez final luego de aplicar los respectivos coagulantes (sulfato de aluminio y policloruro de aluminio) y floculante (poliacrilamida).

Tabla 5. Turbidez obtenida en cada tratamiento

Tratamiento	Concentración	Réplicas	Turbidez final, NTU
		R1	50
		R2	50
		R3	50
		R1	20
	5%	R2	20
		R3	20
		R1	20
		R2	20
		R3	20
		R1	40
		R2	40
		R3	40
		R1	10
Sulfato de Al+PA (0.1%)	15%	R2	10
		R3	10
		R1	20
		R2	20
		R3	20
		R1	20
		R2	20
		R3	20
		R1	20
	25%	R2	20
		R3	20
		R1	20
		R2	20
		R3	20
		R1	10
		R2	10
		R3	10
Policloruro de Al+PA (0.1%)	5%	R1	2
		R2	2
		R3	2
		R1	2

		R2	2
		R3	2
		R1	2
		R2	2
		R3	2
		R1	2
	15%	R2	2
		R3	2
		R1	2
		R2	2
		R3	2
		R1	2
		R2	2
		R3	2
		R1	2
	25%	R2	2
		R3	2
		R1	5
		R2	5
		R3	5

Esparza, 2020

4.2.1. Turbidez obtenida al aplicar los dos métodos de remediación del agua residual de una industria cosmética.

A continuación, en la Figura 5, se presentan los resultados de turbidez para las tres dosis de sulfato de aluminio al 5%, donde se pudo evidenciar que para este caso las dosis más óptimas se tienen en las dosis d2 y d3, consiguiendo un porcentaje de remoción del 80%.

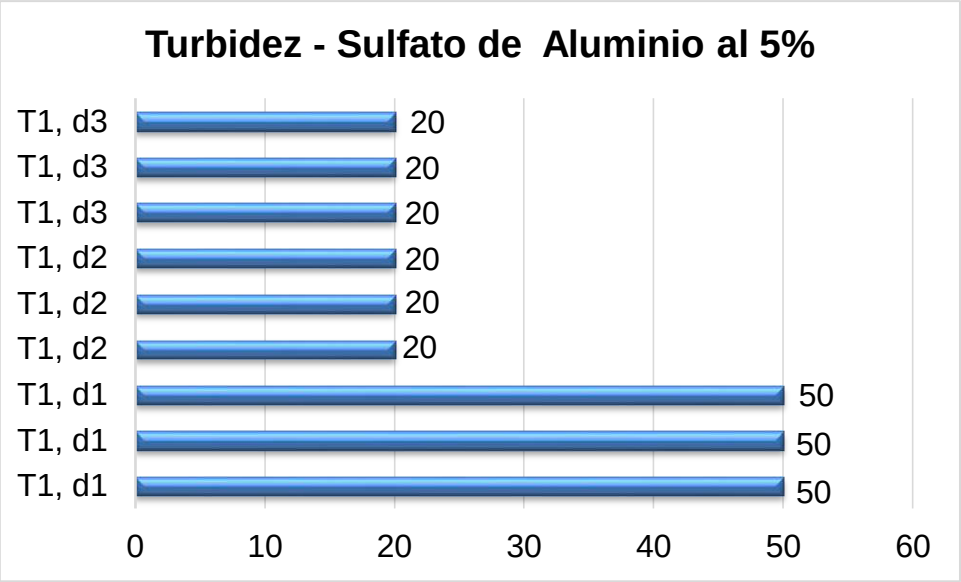

Figura 5. Resultados de turbidez (NTU) con sulfato de aluminio al 5%
Esparza, 2020

La Figura 6 expone los datos conseguidos de turbidez para un tratamiento de sulfato de aluminio al 15% con las siguientes dosis; d1 (3mL y 6mL), d2 (7mL y 10mL) y d3 (11mL y 14mL), de las cuales se define como la mejor dosis a la d2 logrando un 90% de remoción. De igual manera, la dosis d3 presentó un alto porcentaje de remoción obteniéndose un 80%.

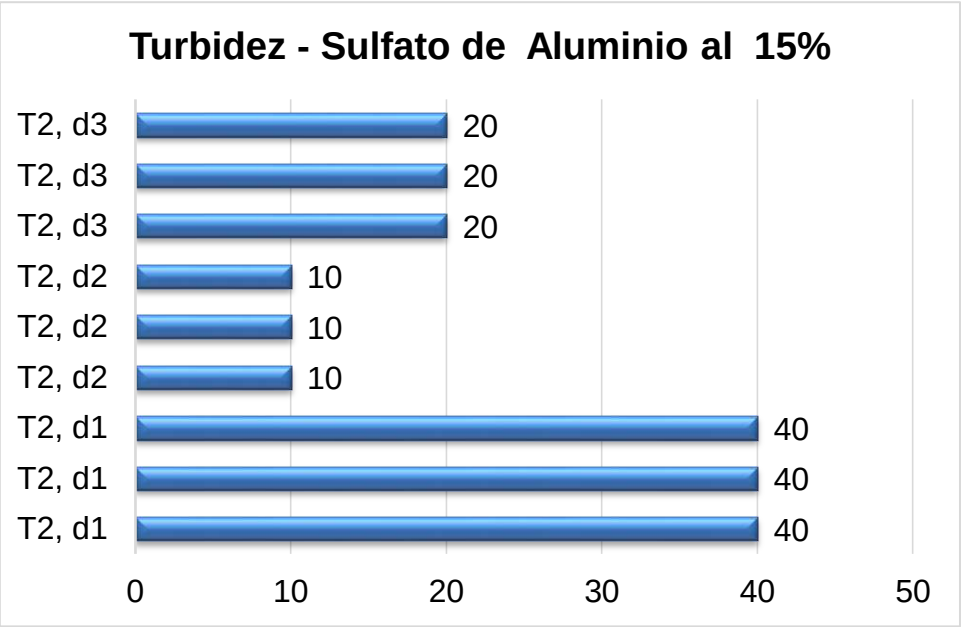

Figura 6. Resultados de turbidez (NTU) con sulfato de aluminio al 15%
Esparza, 2020

En la Figura 7, es posible apreciar los resultados obtenidos con respecto a la turbidez en el tratamiento de sulfato de aluminio al 25% y con dosis d1 (3mL y 6mL), d2 (7mL y 10mL) y d3 (11mL y 14mL). Aunque se haya evidenciado variedad en las dosis aplicadas, los resultados no presentaron variación alguna, logrando un porcentaje de remoción de 80%.

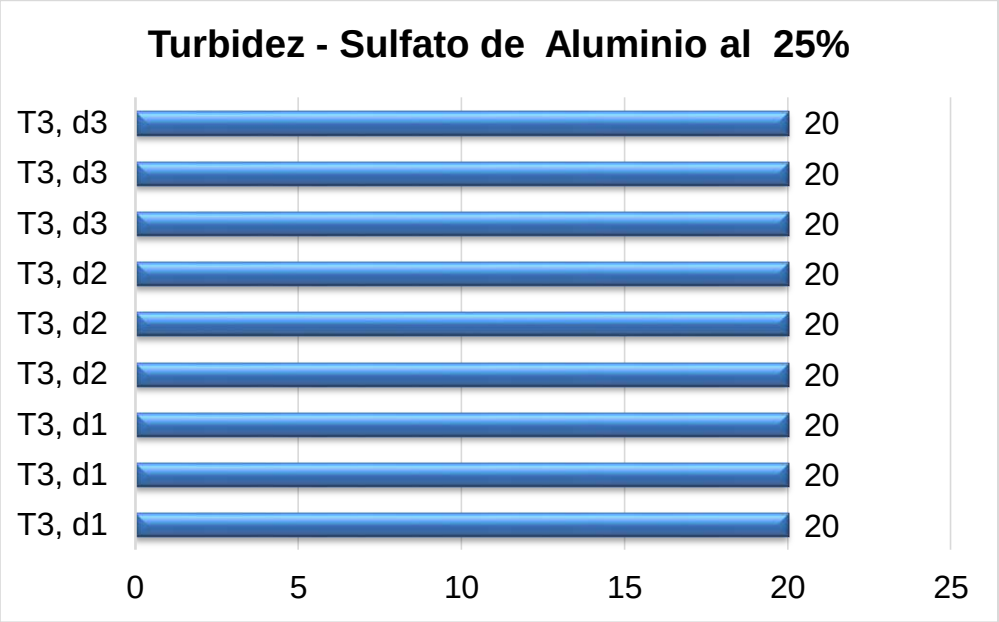

Figura 7. Resultados de turbidez (NTU) con sulfato de aluminio al 25%
Esparza, 2020

En la Figura 8, se denotan los resultados alcanzados para el parámetro de turbidez al someter el agua residual a un tratamiento de policloruro de aluminio al 5% con tres dosis distintas d1 (3mL y 6mL), d2 (7mL y 10mL) y d3 (11mL y 14mL). Es posible definir que las dosis d2 y d3 son las más eficientes, logrando un porcentaje de remoción de 98%.

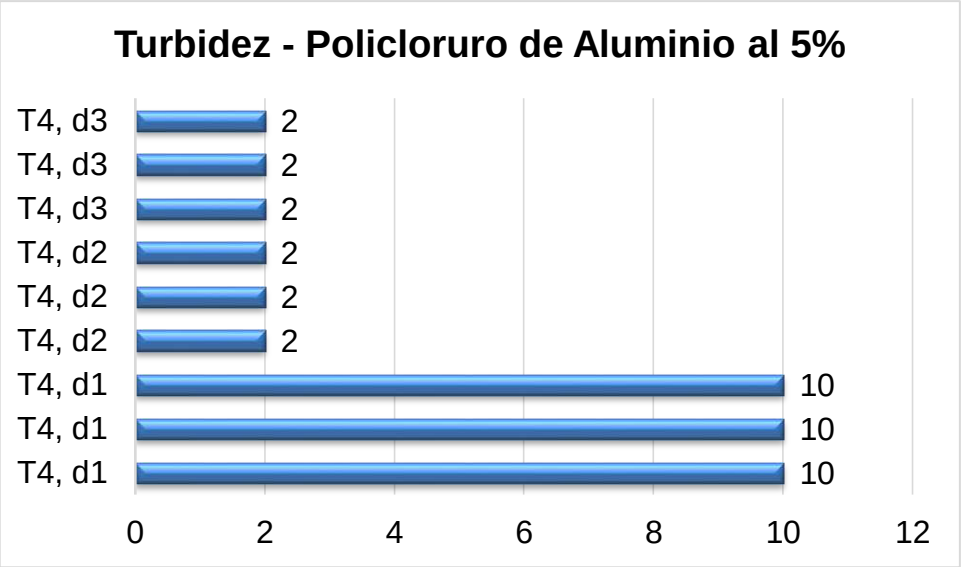

Figura 8. Resultados de turbidez (NTU) con policloruro de aluminio al 5%
Esparza, 2020

La Figura 9 revela los datos obtenidos en cuanto a la remoción de turbidez en agua residual de uso cosmético luego de pasar por un tratamiento de policloruro de aluminio al 15% con dosis de 3mL y 6mL (d1), 7mL y 10mL (d2), 11mL y 14mL (d3) respectivamente, misma que no muestra ninguna variación en las distintas dosis aplicadas. Sin embargo, el porcentaje de remoción es bastante aceptable alcanzando un 98% en los tres casos.

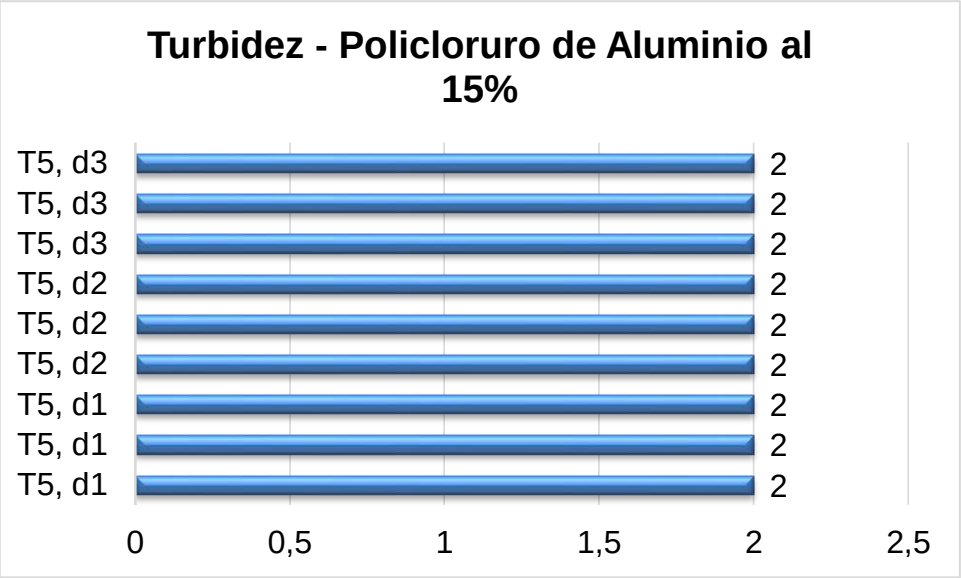

Figura 9. Resultados de turbidez (NTU) con policloruro de aluminio al 15%
Esparza, 2020

En la Figura 10, se manifiestan los datos derivados para la turbidez luego de la aplicación del tratamiento de policloruro de aluminio al 25% en tres dosis (d1, 3mL - 6mL, d2, 7mL - 10mL y d3 11mL - 14mL). Del mismo modo, se aprecia que las dosis d1 y d2 tienen mayor remoción, alcanzando un porcentaje de remediación del 98%.

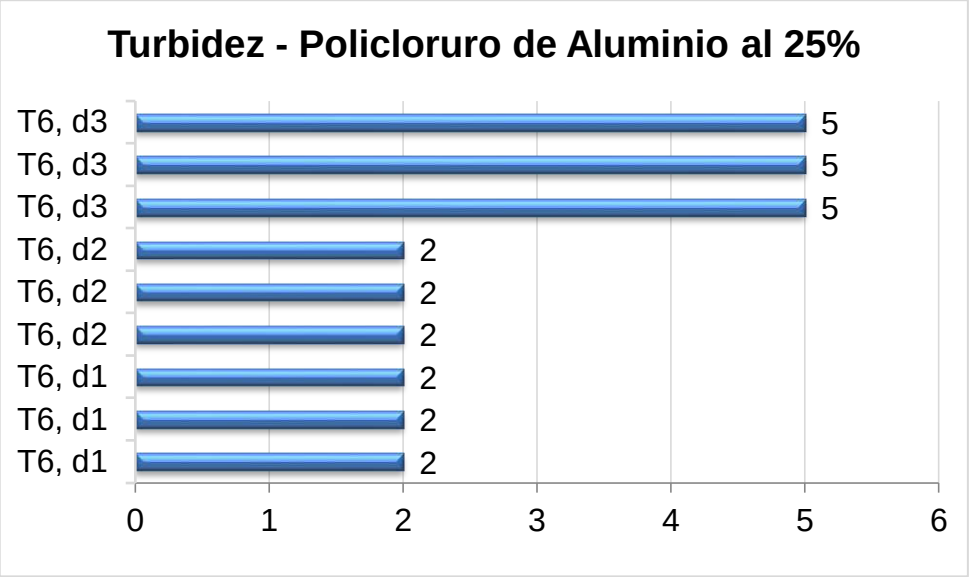

Figura 10. Resultados de turbidez (NTU) con policloruro de aluminio al 25%
Esparza, 2020

En la Figura 11 y Figura 12, se observa los tratamientos en los que se logró mayor remoción de turbidez, enfatizando los tratamientos de policloruro T4 (dosis d2 y d3), T5 (dosis d1, d2 y d3) y T6 (dosis d1 y d2), mismos que mostraron porcentajes de 98% en comparación al sulfato de aluminio en el T2 con la dosis d2 (90%).

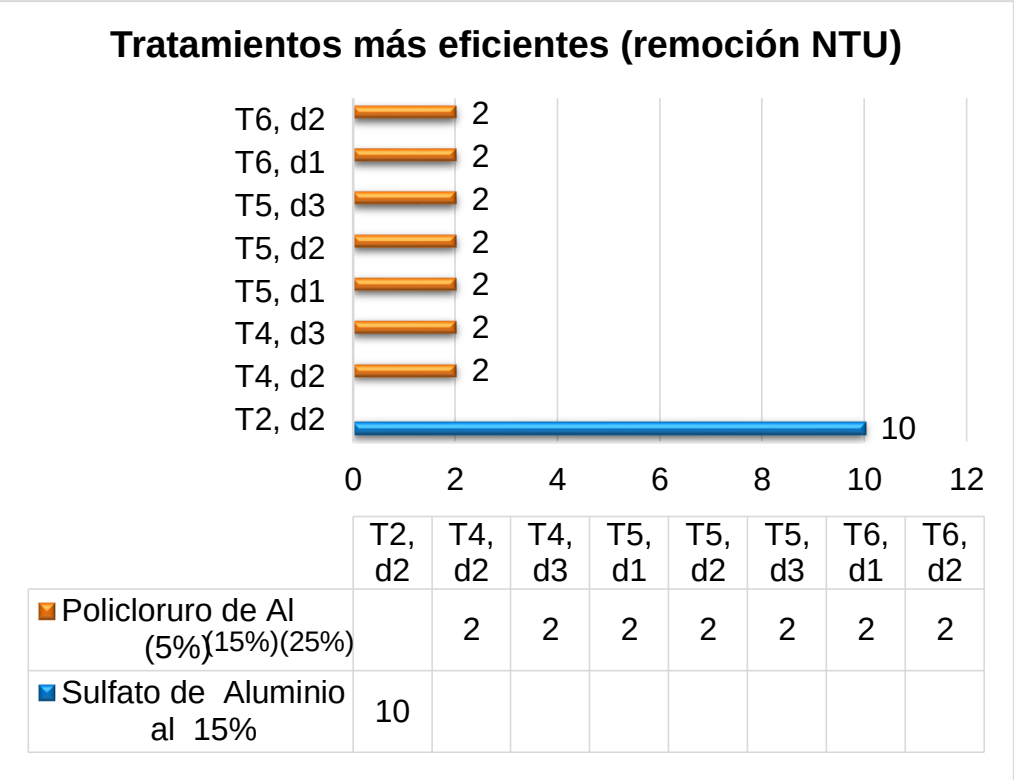

Figura 11. Tratamientos más eficientes en la remoción de turbidez
Esparza, 2020

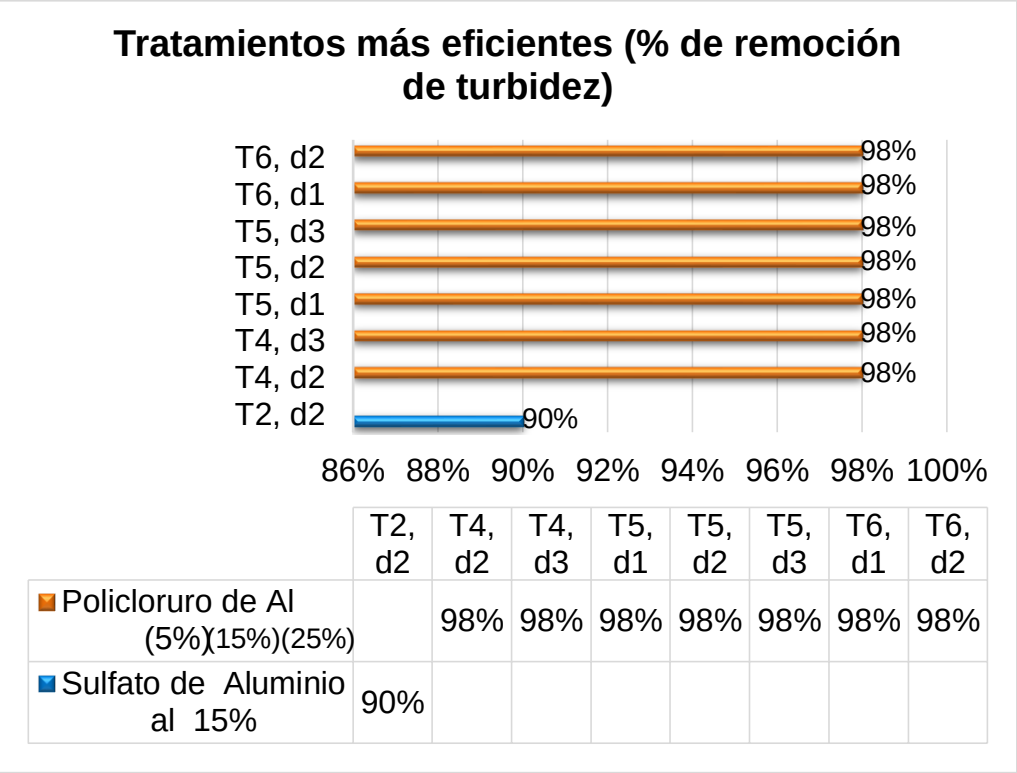

Figura 12. Porcentaje de remoción en los tratamientos más eficientes
Esparza, 2020

Mediante los datos obtenidos luego de la aplicación de los dos tratamientos, se aplicó el estadístico inferencial ANOVA (Ver Tabla 6); mismo que presentó valores de $p < 0,0001$. Dado que este estadístico es menor al nivel de significancia 0,05 se rechaza la hipótesis nula. Por tanto, se acepta la hipótesis alternativa que expresa que por lo menos uno de los tratamientos es diferente de la muestra original contaminada. A su vez, se aplicó el test de Tukey (Ver Tabla 7), con el fin de ratificar lo expresado en ANOVA; en efecto, las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Tabla 6. Análisis de la varianza de turbidez

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7882,5	7	1126,07	25,35	<0,0001
Coagulante	6579,5	5	1315,9	29,63	<0,0001
Dosis	1303	2	651,5	14,67	<0,0001
Error	2043	46	44,41		
Total	9925,5	53			

Esparza, 2020

Tabla 7. Test de Tukey para la turbidez

Coagulante	Medias	n	E.E.			
PCA 25%	3,00	9	2,22	A		
PCA 15%	2,00	9	2,22	A		
PCA 5%	4,67	9	2,22	A		
S. Al 25%	20,00	9	2,22		B	
S. Al 15%	23,33	9	2,22		B	C
S. Al 5%	30,00	9	2,22			C

Esparza, 2020

4.2.2. pH obtenido aplicando métodos de remediación del agua residual de una industria cosmética.

En la Figura 13, se observan los datos obtenidos para el pH luego de realizar el primer tratamiento con sulfato de aluminio a una concentración de 5%; a su vez utilizando dosis diferentes de coagulante y floculante; 3mL y 6mL (d1), 7mL y 10mL (d2), 11mL y 14mL (d3), se obtuvo un pH ácido, siendo el más bajo de 4.

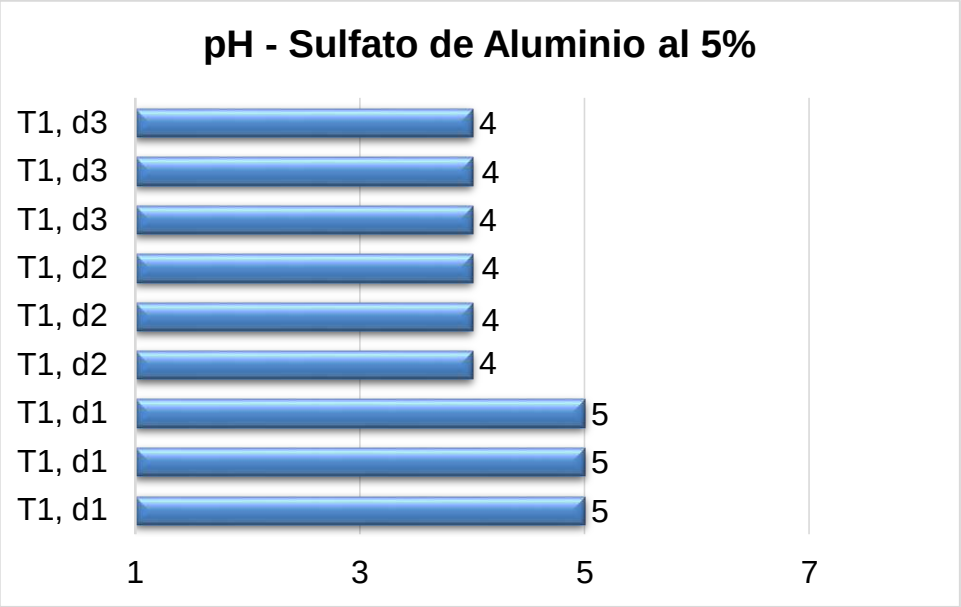

Figura 13. Resultados de pH con sulfato de aluminio al 5%
Esparza, 2020

La Figura 14, presenta los datos alcanzados para el pH después de realizar el segundo tratamiento con sulfato de aluminio a una concentración de 15%, utilizando dosis diferentes de coagulante y floculante; 3mL y 6mL (d1), 7mL y 10mL (d2), 11mL y 14mL (d3). No obstante, al ser el segundo tratamiento, de forma similar al T1 mostró un comportamiento ácido, ubicándose el más bajo con un valor de 3.

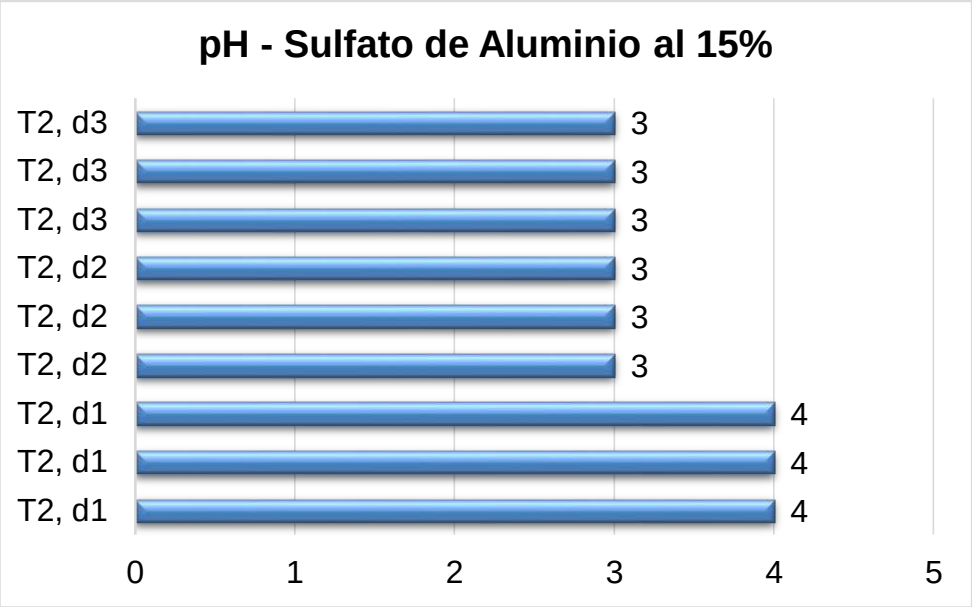

Figura 14. Resultados de pH con sulfato de aluminio al 15%
Esparza, 2020

Como se muestra en la Figura 15, los datos obtenidos para el pH después de realizar el tercer tratamiento con sulfato de aluminio a una concentración de 25%, utilizando distintas dosis de coagulante y floculante; 3mL y 6mL (d1), 7mL y 10mL (d2), 11mL y 14mL (d3). Se obtuvo nuevamente un pH ácido, teniendo valores entre 3 y 4.

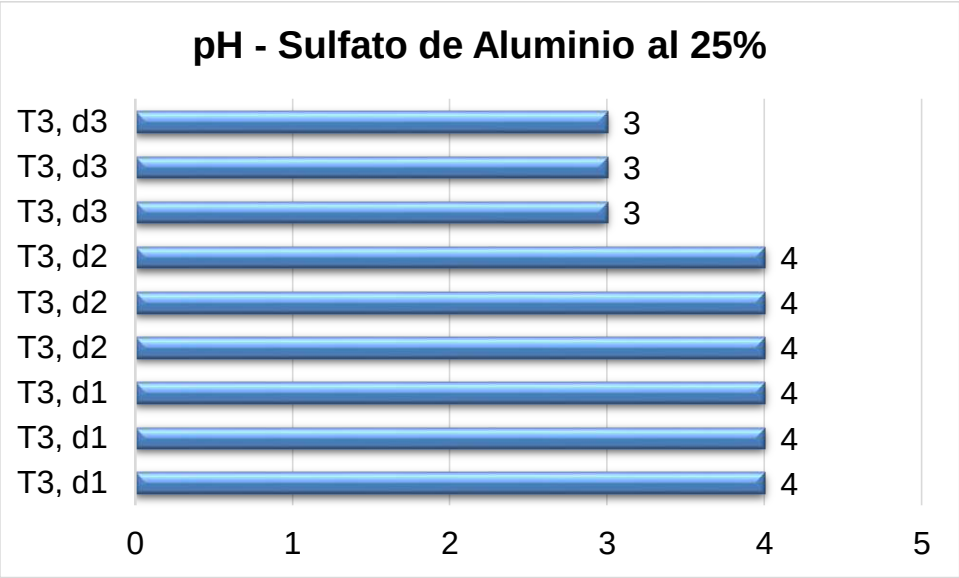

Figura 15. Resultados de pH con sulfato de aluminio al 25%
Esparza, 2020

En la Figura 16, se muestran los datos obtenidos para el pH después de ser sometidos al cuarto tratamiento con policloruro de aluminio en concentraciones del 5%; además, se utilizaron distintas dosis de coagulantes y floculante; 3mL y 6mL (d1), 7mL y 10mL (d2), 11mL y 14mL (d3). Sin embargo, también se conservó un pH ácido siendo el más bajo 4, comportándose de la misma manera que el T1 con sulfato de aluminio.

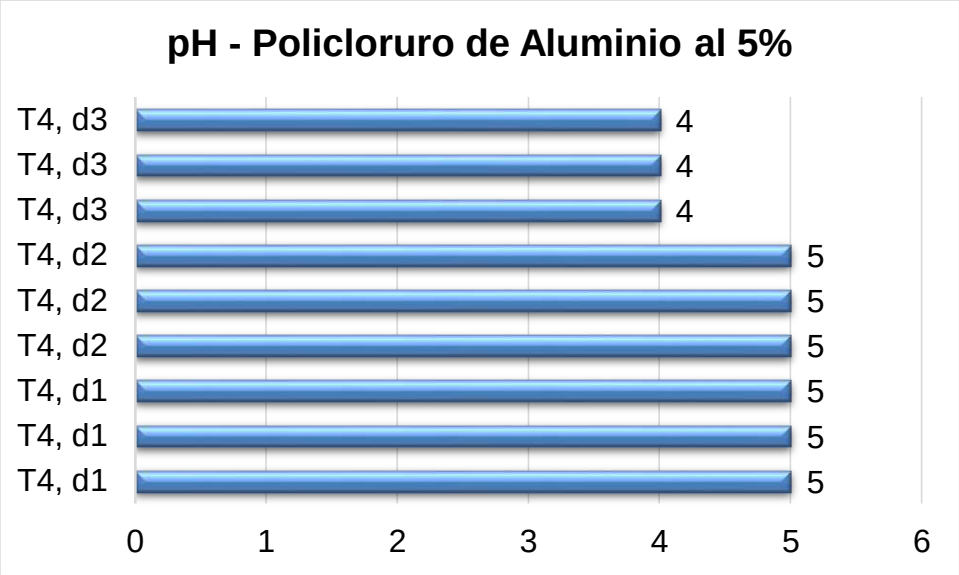

Figura 16. Resultados de pH con policloruro de aluminio al 5%
Esparza, 2020

Se observa en la Figura 17 los datos obtenidos para el pH después de pasar por el quinto tratamiento con policloruro de aluminio al 15%, adicionalmente se utilizó distintas dosis de coagulantes y floculante; 3mL y 6mL (d1), 7mL y 10mL (d2), 11mL y 14mL (d3). Pese al cambio de tratamiento, se mantuvo el pH ácido siendo el más bajo con un valor de 4.

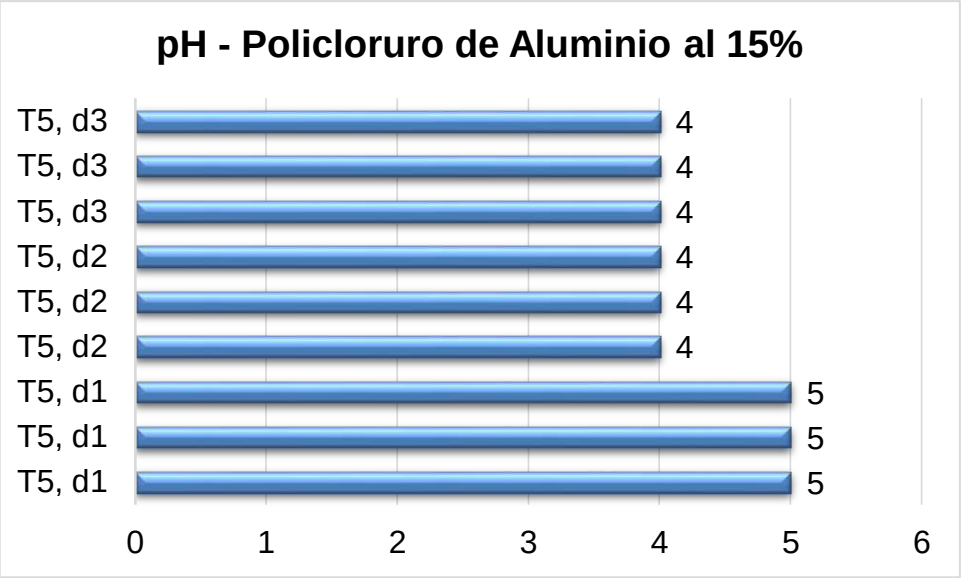

Figura 17. Resultados de pH con policloruro de aluminio al 15%
Esparza, 2020

La Figura 18 muestra los resultados obtenidos para el pH luego de pasar por el sexto tratamiento con policloruro de aluminio al 25%; adicionalmente, se utilizó distintas dosis de coagulantes y floculante; 3mL y 6mL (d1), 7mL y 10mL (d2), 11mL y 14mL (d3). Es posible observar que este tratamiento mostró un comportamiento más estable; sin embargo, el pH se mantuvo ácido.

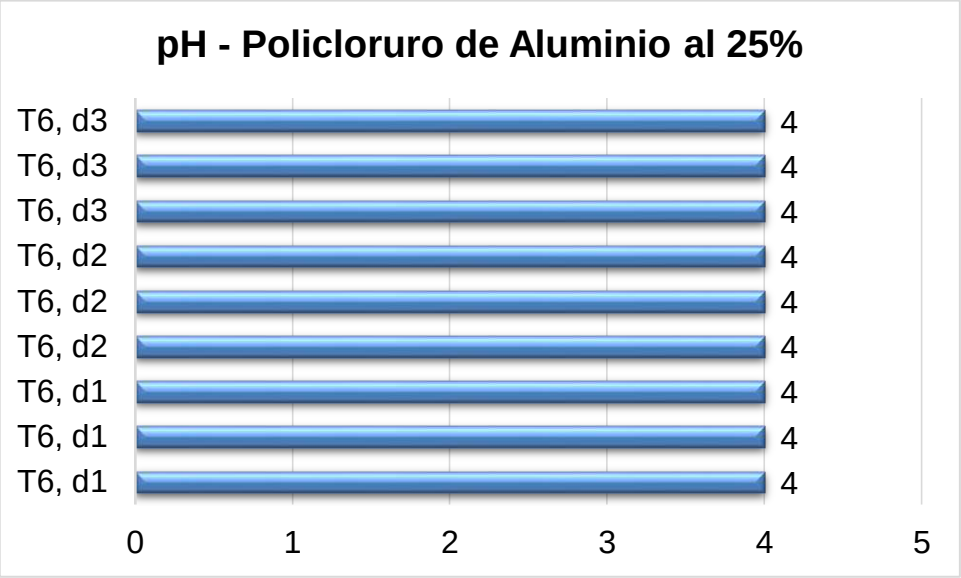

Figura 18. Resultados de pH con policloruro de aluminio al 25%
Esparza, 2020

Dado que el pH se presentó a un nivel ácido, luego de la aplicación de los coagulantes de aluminio, entonces se procedió a neutralizarlo con la aplicación de hidróxido de sodio. Por cada 500mL de muestra con nivel de acidez, se adicionaron aproximadamente 100mL de una solución diluida de hidróxido de sodio. Obteniendo entonces los siguientes resultados:

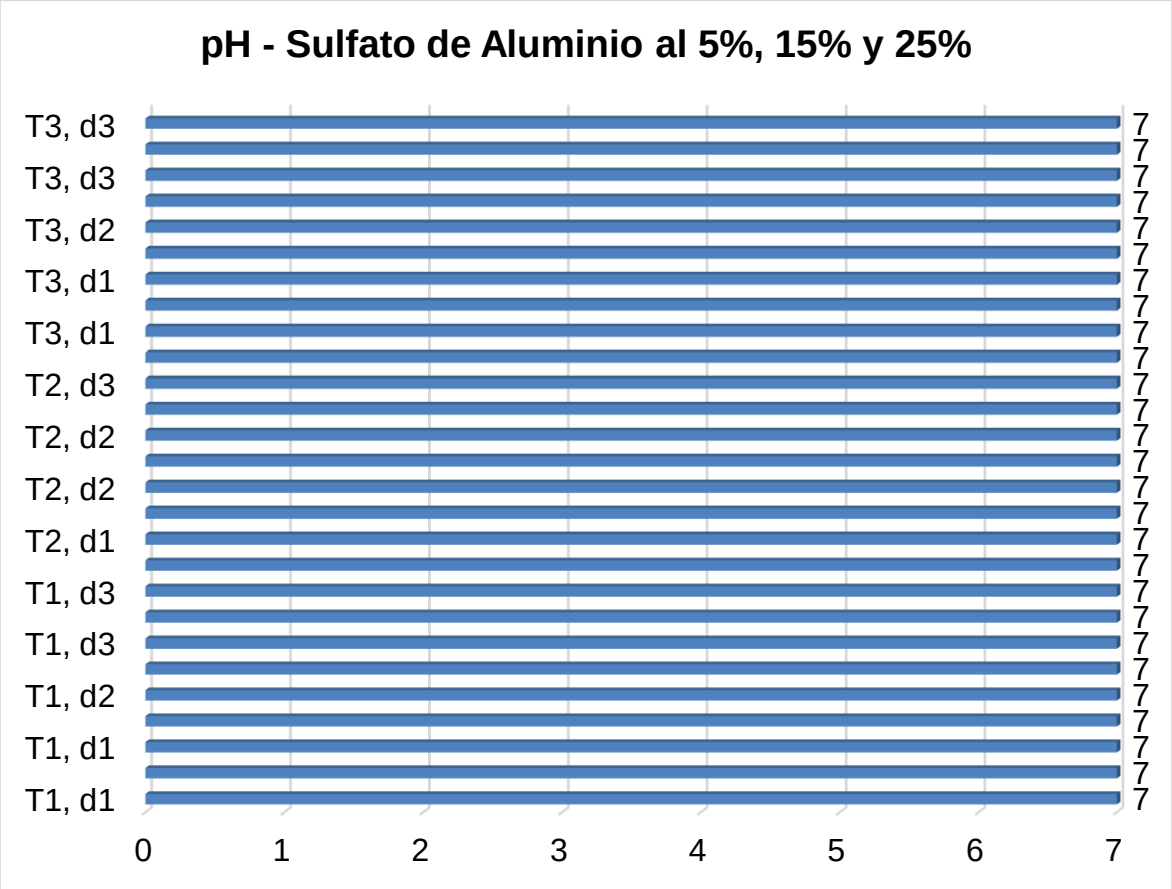

Figura 19. Resultados de pH con S. Al luego de la aplicación de hidróxido de sodio.
Esparza, 2020

En la Figura 19 y Figura 20, se aprecia los resultados de pH arrojados luego de la neutralización, mismos que se establecieron en un pH de 7 considerado como neutro. Este resultado se logró tanto en el tratamiento de sulfato de aluminio como en el de policloruro de aluminio.

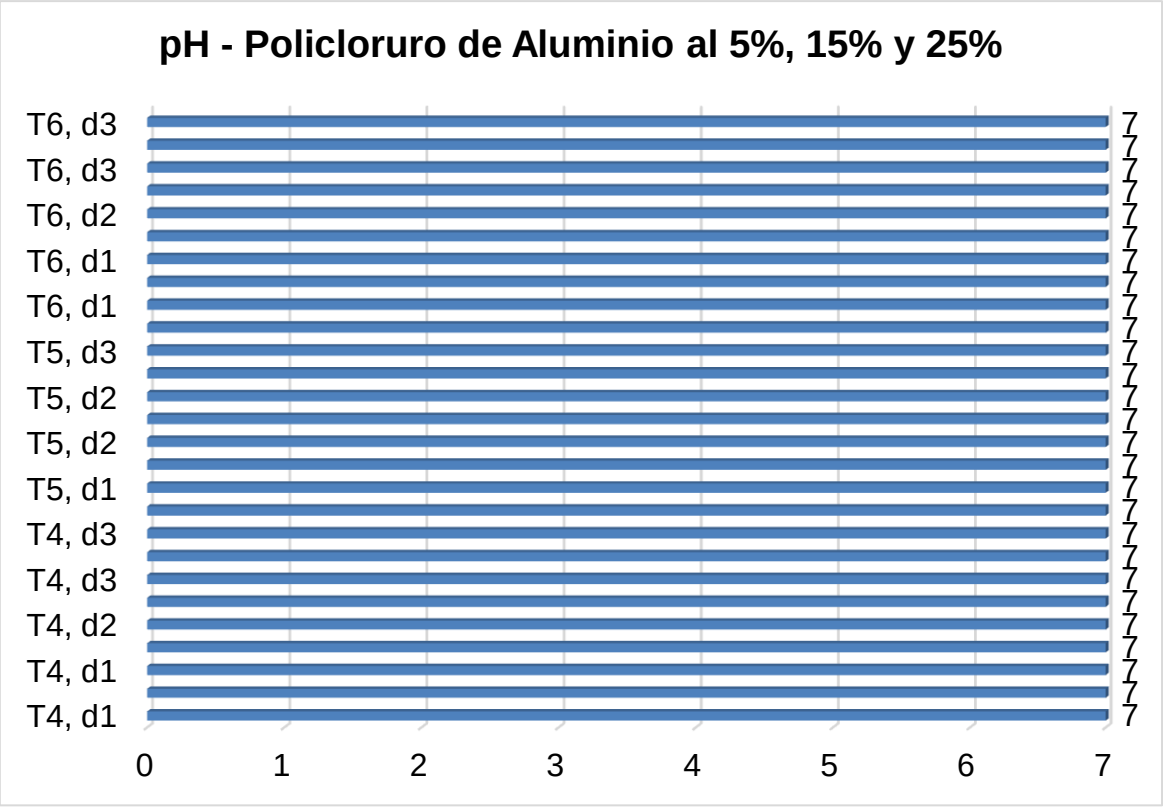

Figura 20. Resultados de pH con PCA luego de la aplicación de hidróxido de sodio.
Esparza, 2020

4.3. Propuesta de un sistema de tratamiento basado en los resultados obtenidos en la depuración de parámetros físicos y químicos del agua residual de una industria cosmética.

En la actualidad, la industria cosmética ha presentado un auge mayor, lo que trae consigo la creación de nuevas empresas dedicadas a la producción de artículos de belleza. En consecuencia, se tienen mayor uso de recursos especialmente del recurso agua, es importante resaltar que el agua proveniente de la creación de este tipo de productos contiene sustancias que por lo general no se encuentran en otro tipo de agua residual y altamente tóxicos como el caso de los parabenos, algunos metales, etc., lo más recomendable en este tipo de agua es un tratamiento físico-químico que logrará una mayor remoción de contaminantes. A través del presente estudio, se logró definir un tratamiento a

base de coagulación-floculación utilizando PCA+PA 0.1% con eficiencia del 98% de remoción de turbidez al ser utilizado en agua residual de una industria cosmética.

4.3.1 Objetivo de la propuesta

Implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales para industria cosmética mediante el uso de tratamientos físico-químicos (coagulación y floculación).

4.3.2 Desarrollo de la propuesta

La propuesta de tratamiento de agua residual en una industria cosmética tiene como objetivo principal la depuración de las aguas residuales que descarga; de esta manera lograr que se encuentren dentro de los límites permisibles expuestos en el Acuerdo Ministerial 097A, que regula la calidad de aguas residuales. Para ello, se propone una trampa para la retención de grasas, y posteriormente un tanque para la adición de coagulantes y floculantes. Posterior al tiempo de sedimentación, se requiere un sedimentador de lodos. Finalmente, el agua tratada es filtrada en un lecho de carbón activado (Ver Figura 21).

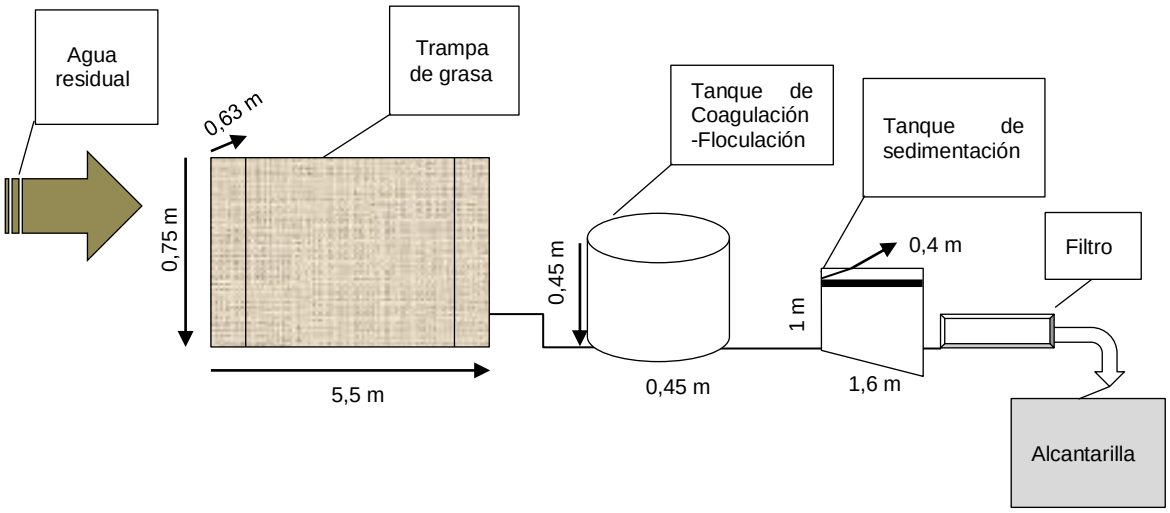

Figura 21. Sistema de tratamiento de aguas residuales para una industria cosmética
Esparza, 2020

4.3.2.1 Trampa de grasa

Este es un dispositivo con el cual ya cuenta la empresa, misma que tiene las siguientes medidas, largo 5,5 m, ancho 0,63 m y de profundidad 0,75 m; esto, para un caudal de 2,80 L/min.

4.3.2.2 Tanque de coagulación-floculación

Para el tanque de coagulación-floculación se utilizó el tiempo que se demoró en coagular y flocular el tratamiento más eficiente, en este caso fue de 2 min por proceso; es decir, en total se requieren 4 minutos. Adicionalmente, se necesitó el caudal que fue de 1,68 m^3/h.

El volumen de un tanque de coagulación-floculación se calcula mediante la ecuación:

$$V = t_R . Q$$

t_R = tiempo de resistencia en el tanque de coagulación-floculación (h)

Q = caudal de agua residual a tratar (m^3/h)

Lo que nos quedó de la siguiente manera;

$$V = (4\,\cancel{min}.\frac{1h}{60\,\cancel{min}}).(1{,}68m^3)$$

$$V = 0{,}112\ m^3\ x\ 2\ (50\%\ de\ agua\ residual)$$

$$V = \ 0{,}224\ m^3$$

$$V = \ 0{,}224\ m^3 + 0.0149\ m^3(coagulante) + 0.0105\ m^3\ (floculante)$$

$$V = \ 0{,}249\ m^3$$

Cabe mencionar que se debe tener en cuenta el volumen del 50% adicional en agua para evitar la formación de vórtices, lo que nos deja un volumen de 0,224m^3. Además, se debe considerar el volumen del coagulante y del floculante, ya que para 150mL se ocuparon 17mL del mejor tratamiento (T4, d2) lo que se traduce en 113.3mL para 1L mediante el uso de una regla de tres, entonces, para una

cantidad de 0,224m^3 se necesita alrededor de 25386.6mL o 0.025m^3. Para el tanque de coagulación-floculación se eligió un modelo cilíndrico debido a su simplicidad, su diámetro será igual a su altura de modo que sus medidas serán las siguientes:

Volumen: 0.29 m^3

Diámetro: 0.45 m

Altura: 0.45 m

4.3.2.3 Tanque de sedimentación

Luego de realizar el proceso de coagulación-floculación se pasará a un tanque de sedimentación el cual será rectangular, mismo que se calculó considerando los siguientes parámetros; el flujo total, el sobre flujo, el tiempo de retención y la carga por día, obteniéndose las siguientes medidas:

Volumen: 4.032 m^3

Altura: 1 m

Ancho: 0.4 m

Longitud: 1.6 m

4.3.2.4 Filtro

Después de la sedimentación pasará por filtros tipo prensa con carbón activado, para reducir el volumen del sólido suspendido remanente. Posteriormente, el efluente tratado será descargado directamente a la alcantarilla, cumpliendo con la normativa ambiental.

5. Discusión

5.1 Caracterización del agua residual de una industria cosmética

La caracterización del agua residual de una industria cosmética en cuanto a los parámetros (turbidez y pH) en su fase inicial, mostró valores en cada uno de ellos que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles mismos que se registran en el Acuerdo Ministerial 097A, ya que para la turbidez el valor fue de 100 NTU y para el pH fue de 6, situación debida a las cargas específicas provenientes de detergentes, colorantes, aceites y emulsiones que varían frecuentemente de acuerdo con el tipo de producto producido.

Toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados, esta caracterización se da como referencia de los parámetros de importancia a analizar y de su magnitud (Fuentes , 2014). El agua residual de una industria cosmética fue caracterizada después de hacer el muestreo según la norma INEN 2169 obteniendo resultados exactos y óptimos para la remediación de parámetros ambientales, mismos que se encontraron dentro de los límites máximos permisibles.

5.2 Aplicación de tratamientos físicos y químicos

Zamudio (2013) indica que los tratamientos de coagulación y floculación aplicando el 15% de sustancias químicas logran remover contaminantes y remediar la turbidez del agua residual en un 95%. Mientras que Coral y Salvador (2017) explican que los tratamientos físico-químicos (coagulación, floculación y neutralización) alcanzan una eficiencia del 95% en la remediación del agua residual de una industria cosmética. A la vez Freire (2012) indica que los

tratamientos físico-químicos remueven el 90% de contaminantes presentes en el agua residual de una industria cosmética. Estas aseveraciones coinciden con el trabajo de investigación; sin embargo, cabe recalcar que dichos tratamientos físico-químicos (coagulación y floculación) aplicados en este trabajo, dieron un porcentaje más alto (98%) en cuanto a la remediación de agua residual utilizando PCA como coagulante. Esto se corrobora con lo indicado por Freire (2012), ya que utilizando sulfato de aluminio se obtuvo el 90% de remediación del agua residual de la industria cosmética.

Luego de aplicar los tratamientos físico-químicos, se obtuvieron resultados eficaces ya que la remediación del agua residual de la industria cosmética para cada parámetro fue alta, en cuanto a turbidez (98%) y para el pH (7), siendo el segundo método el más efectivo en donde se utilizó (PCA+PA 0.1%), enfatizando ese porcentaje en los tratamientos siguientes: T4 (d2 y d3), T5 (d1, d2 y d3), T6 (d1 y d2). Al tratar de concordar con Ortíz (2011) resulta que en el presente trabajo de investigación los tratamientos utilizados arrojan un porcentaje más alto (98%) que el indicado por esta cita bibliográfica, la cual indica que logró resultados eficientes al aplicar concentraciones del 5% de PCA removiendo el 85% de contaminantes.

Los tratamientos físicos-químicos (coagulación y floculación) utilizando como coagulante sulfato de aluminio no son suficientes para lograr una desinfección debido a que requiere una etapa adicional para desinfectar y remover parámetros físico-químicos entre 63 y 97 %, para esto es necesario aplicar un proceso de ozonización, mostrando mejores resultados de un 98 %, para los parámetros físico-químicos (Medina, 2018). Mediante el uso de sulfato de aluminio en el presente trabajo de investigación se obtuvo en el tratamiento 2 (dosis d2) un

resultado de remoción del 90%, claro está que no fue el método más eficiente; sin embargo, dio un alto porcentaje de remoción en comparación a lo que menciona Medina (2018) indicando que se debe utilizar un proceso adicional de ozonización.

5.3 Propuesta de un sistema de tratamiento

Por último, se elaboró una propuesta para la remediación del agua residual de la industria cosmética, mediante la cual se estima un tratamiento primario, secundario y terciario dando paso a la coagulación (integración de partículas para formar partículas mayores y precipitar rápidamente), floculación (crecimiento y aglomeración de flóculos recién formados para sedimentar con facilidad) y filtración mediante filtros prensa, para que así finalmente el agua ya tratada pueda ser descargada directamente a la alcantarilla.

Esta propuesta está basada en aquello que manifiesta Rodie (1987) indicando que dentro de los procesos de tratamiento deben estar incluidos los primarios, secundarios y terciarios; en este contexto se recalca que mediante estos dos últimos tratamientos se obtienen óptimos.

6. Conclusiones

En la caracterización inicial del agua residual se llegó a la conclusión que, los parámetros analizados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, mismos que se detallan en el Acuerdo Ministerial 097A, teniendo una turbidez inicial de 100 NTU y un pH de 6. No obstante, el agua residual presenta una coloración la cual está fuera de los parámetros permitidos por la normativa ecuatoriana.

Este estudio determinó como tratamientos eficientes a los siguientes: T4 (d2 y d3), T5 (d1, d2 y d3), T6 (d1 y d2), en los cuales se utilizó policloruro de aluminio como coagulante más poliacrilamida como floculante, logrando remediar el agua residual en un 98% y por ende se alcanzó que cada parámetro se mantuviera dentro de los límites máximos permisibles. Pese a que después de la coagulación-floculación el pH se mantuvo ácido en cada experimento ya que el pH inicial era 6, es relevante dar a conocer que la lejía (sello rojo) fue la sustancia química que logro neutralizar el pH (7) encontrándose en el rango que establece la normativa vigente de los límites máximos permisibles.

Se propone la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales para industria cosmética mediante los tratamientos físico-químicos (coagulación y floculación) utilizando Policloruro de aluminio 0.0149m^3 como coagulante y Poliacrilamida 0.0105m^3 como floculante, dicha propuesta está basada en los tratamientos más eficientes para remediar el agua residual, en este caso son: T4 (d2 y d3), T5 (d1, d2 y d3), T6 (d1 y d2), el diseño de este sistema fue elaborado con el fin de remediar de manera óptima y eficiente el agua residual de la industria cosmética.

7. Recomendaciones

Se recomienda que el muestreo sea realizado según las especificaciones de la norma INEN 2169, esto para que las muestras a manipular no sufran cambios en sus características y se puedan analizar de manera exacta, debido a que una mala manipulación o manejo del agua residual puede causar variación en esta, incluyendo cambios en los parámetros ambientales, haciendo que los mismos no se encuentren dentro de los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097A.

Posteriormente, en cuanto a los tratamientos, se recomienda aplicarlos tal como se detallan en este trabajo de investigación (primario, secundario y terciario), para así obtener óptimos resultados y evitar la contaminación ambiental así como futuros efectos negativos, con la metodología que se plantea en este trabajo se logró remediar gran cantidad de contaminantes presentes en el agua residual, sin embargo, si se requiere un 100% de remediación es recomendable agregar oxidación avanzada proceso que es efectivo para remediar el agua residual de la industria cosmetica.

Finalmente, se recomienda implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales para la industria cosmética mediante el uso de tratamientos físico-químicos (coagulación-floculación), con el fin de mitigar la contaminación ambiental y de que los parámetros ambientales se encuentren dentro de los límites máximos permisibles. Una vez aplicados estos 2 tratamientos realizar el proceso de filtración mediante filtro prensa, tal como se detalla en la Figura 21, misma en la que se evidencia el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para una industria cosmética.

8. Bibliografía

Andía, Y. (2000). Servicio de agua potable y alcantarillado de Lima. Recuperado el Noviembre 15, 2019, de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

Arango, O., & Sanches, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea em sistemas anaerobios tipo UASB. Unicauca, 25.

Arce, A. L., Calderón, C., & Tomasini, A. C. (s.f.). Fundamentos técnicos para el muestreo y análisis de aguas residuales. Comisión Nacional del Agua, 32-37.

Aznar, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. Gestion Ambiental, 1.

Bragado Alcaraz, R. (2017, julio 11). Aguas depuradas para riego (turbidez). Recuperado el Mayo 25, 2020, de https://www.tiloom.com/turbidez/

Calderón, F. (2015). Instituto mexicano de la radio. Recuperado el Noviembre 10, 2019, de http://www.pacocalderon.org/medios/nota461.html

Castillo, J., & Gómez, G. (2012). Procesos de tratamientos de aguas: coagulación y floculación. Recuperado el Noviembre 12, 2019, de https://es.slideshare.net/guillermo150782/coagulacion-y-floculacion

CEIBAS. (2017). Determinación de turbidez. Neiva: Empresas públicas de Neiva.

Cogollo, J. M. (2010). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxicloruro de aluminio. DYNA, 19-22.

Coral, K., & Salvador, G. (2017). Repositorio Digital Universidad Internacional SEK. Obtenido de http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2373

Cuesta, H. (2019, Octubre 16). Procesos avanzados de oxidación aplicados al tratamiento de las aguas residuales de la Industria Petroquímica: Fenton y foto-fenton. Recuperado el Febrero 9, 2020, de https://repository.unad.edu.co/handle/10596/28100

Da Ros, G. (1995). La contaminación de aguas en Ecuador: una aproximación económica. Quito: Editorial Abya Yala.

Flores, J. (2007). Sonolysis of pharmaceuticals and personal care as an advanced oxidation process to treat remediation of wastewater effluents. VirtualPro, 2-4.

Freire, P. A. (2012). Análisis y evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Recuperado el Noviembre 11, 2019, de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2337/1/15T00504.pdf

Fuentes , W. (2014, Junio 12). Caracterización de aguas residuales. Recuperado el Junio 19, 2020, de https://es.slideshare.net/Casskiss/caracterizacion-de-aguas-residuales

Galárraga, R. (2000). CEPAL. Recuperado el Noviembre 9, 2019, de https://www.cepal.org/DRNI/proyectos/samtac/InEc00100.pdf

Garcés, L., Hernández, M., Peñuela, G., Rodríguez, A., & Salazar, J. (2005). Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocatálisis. Lasallista, 16.

Garcés, Mejía, & Santamaría. (s.f.). La fotocatálisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Lasallista, 83-84.

Gasga, R. (2004). Modelos de un solo factor (Diseño Completamente al Azar). Acatlán de Osorio, Puebla: Calameo.

Ghafari, & Khezri. (2012). Evaluation of hydrophilic cotton processing wastewater treatment methods and giving the optimum method for it. Springer, 2992-2995.

González, C. (2011). Monitoreo de la calidad del agua. Recuperado el Noviembre 15, 2019, de http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf

Hennecke, D., Bauer, A., Herrchen, M., Wischerhoff, E., & Gores, F. (2018). Cationic polyacrylamide copolymers (PAMs): environmental half life determination in sludge-treated soil. Springer, 1-3.

INEN. (2013). Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 2169. Recuperado el Noviembre 13, 2019, de http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACI%C3%93N-DE-MUESTRAS.pdf

Leyton, A. (2012). wordpress. Recuperado el Noviembre 12, 2019, de https://investigacionestodo.wordpress.com/2012/05/19/clases-y-tipos-de-investigacion-cientifica/

Lopez, C. M., Buitrón, G., Cervanes, F., & Hernández, H. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelacion y diseño. Britania: IWA Publishing.

Maldonado , V. (2004). Filtración. En L. Vargas, Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida (pág. 83). Lima: CEPIS.

Marín, D. (2019). EFEverde. Recuperado el Noviembre 9, 2019, de https://www.efeverde.com/noticias/america-latina-gestion-agua-saneamiento-bid/

Medina, C. (2018, Febrero 25). Aplicación de polímeros naturales en el tratamiento de aguas residuales. Recuperado el Junio 19, 2020, de http://200.12.169.19/bitstream/25000/15053/1/T-UCE-0012-066-2018.pdf

OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. Recuperado el Noviembre 11, 2019, de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

Olarte Romero, F. (2017, julio 31). pH en el agua. Recuperado el Mayo 25, 2020, de https://www.ecovidasolar.es/blog/ph-en-el-cuerpo-y-ph-en-el-agua/

Onen, V., Beyazyuz, P., & Yel, E. (2017). Removal of Turbidity from Travertine Processing Wastewaters by Coagulants, Flocculants and Natural Materials. Springer, 1-2.

ONU. (2017). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos; Aguas residuales: El recurso no explotado. París: UNESCO.

Orozco, Á. (2005). Bioingenieria de aguas residuales. Bogotá: Acodal.

Ortíz, V. (2011). Evaluación y análisis del sistema de dosificación de policloruro de aluminio. Recuperado el Noviembre 11, 2019, de http://portal.facyt.uc.edu.ve/pasantias/informes/P25434458.pdf

Ouertatani, L., Dumon, A., Trabelsi, M., & Soudani, M. (2006). Acids and Bases: The Appropriation of The Arrhenius Model by Tunisian Grade 10 Students. Springer, 483-485.

Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Industrial Data, 1-11.

Ramos, C. (2004). Los residuos en la industria farmacéutica. Cenic , 1-2.

Recalde, G., & Sánchez , M. (2020, Febrero 27). Plan de marketing para la marca sello rojo en la ciudad de Guayaquil. Recuperado el Junio 19, 2020, de http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/14198/1/T-UCSG-PRE-ESP-CIM-486.pdf

Restrepo , M. (2006). Producción más Limpia en la industria alimentaria. Lasallista, 87-88.

Rodie, E. (1987). Tratamiento de aguas residuales. México: Continental S.A.

Ronzano, E., & Dapena, J. L. (1995). Tratamiento biológico de las aguas residuales. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

Salazar, A. (2017). Universidad Internacional del Ecuador. Recuperado el Noviembre 10, 2019, de https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2404/1/T-UIDE-1285.pdf

Salazar, C., & Del Castillo, S. (2017). Fundamentos básicos de estadística. Quito: Sin editorial.

Sánchez, M. (s.f.). Jardinería con sulfato de aluminio. Recuperado el Febrero 9, 2020, de https://www.jardineriaon.com/sulfato-de-aluminio.html

Sandoval, L. (2018). Tratamiento de agaus residuales industriales en México: una aproximación a su situación actual y retos por atender. RINDERESU, 1-15.

Soler, A. C. (2016, Junio). Determinación de la toxicidad aguda de ingredientes utilizados en los productos de cuidado personal. Recuperado el Febrero 9, 2020, de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/99113/TFM_TOXICIDADPCPs_ANASOLER.pdf

Sun , M. (s.f.). Procesos para el tratamiento de las aguas residuales en plantas galvánicas y metalúrgicas. Recuperado el Febrero 9, 2020, de https://pdfs.semanticscholar.org/1198/c60c5699dfa7e2bb33f35ba9e53caf3d9842.pdf

Torres. (2012). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. Dialnet, 117.

Torres, G. F. (2014). SemanticScholar. Recuperado el Noviembre 10, 2019, de https://pdfs.semanticscholar.org/38de/2d28d1acdc868b3ab4aa0d4dbe3ec894b3ed.pdf

Ures, P., Jácome, A., & Suárez, J. (2014). Industria de diseño textil. Recuperado el Noviembre 15, 2019, de https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Neutralizaci%C3%B3n.pdf/e7996c1d-1265-54c0-07d8-c0a79ce2cd91

Vanloot, P., Branger, C., Margaillan, A., Brach-Papa, C., Boudenne, J.-L., & Coulomb, B. (2007). On-line solid-phase extraction and multisyringe flow injection analysis of Al(III) and Fe(III) in drinking water. Springer, 1-2.

Zamudio, E. (2013). Acoplamiento del proceso de coagulación-floculación por biopolimeros y desinfección por ozono de aguas residuales. Recuperado el Noviembre 10, 2019, de https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/19534/Evelyn_Zamudio.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zubcoff, J. (2007). Introducción a ANOVA (Análisis de la varianza). ResearchGate, 1-2.

9. Anexos

N°	Tratamiento	Concentración	Réplicas	Descripción	Dosis ml, coagulante	Dosis ml, floculante	Parámetros					
							Turbidez inicial, NTU	Turbidez final, NTU	pH inicial del agua residual	pH luego de la coagulación-floculación	pH final luego de neutralización	% Remoción de turbidez
1	Sulfato de Al+PA (0.1%)	5%	R1	T1, d1	3ml	6ml	100	50	6	5	7	50%
			R2	T1, d1	3ml	6ml	100	50	6	5	7	50%
			R3	T1, d1	3ml	6ml	100	50	6	5	7	50%
			R1	T1, d2	7ml	10ml	100	20	6	4	7	80%
			R2	T1, d2	7ml	10ml	100	20	6	4	7	80%
			R3	T1, d2	7ml	10ml	100	20	6	4	7	80%
			R1	T1, d3	11ml	14ml	100	20	6	4	7	80%
			R2	T1, d3	11ml	14ml	100	20	6	4	7	80%
			R3	T1, d3	11ml	14ml	100	20	6	4	7	80%
2		15%	R1	T2, d1	3ml	6ml	100	40	6	4	7	60%
			R2	T2, d1	3ml	6ml	100	40	6	4	7	60%
			R3	T2, d1	3ml	6ml	100	40	6	4	7	60%
			R1	T2, d2	7ml	10ml	100	10	6	3	7	90%
			R2	T2, d2	7ml	10ml	100	10	6	3	7	90%
			R3	T2, d2	7ml	10ml	100	10	6	3	7	90%
			R1	T2, d3	11ml	14ml	100	20	6	3	7	80%
			R2	T2, d3	11ml	14ml	100	20	6	3	7	80%
			R3	T2, d3	11ml	14ml	100	20	6	3	7	80%
3		25%	R1	T3, d1	3ml	6ml	100	20	6	4	7	80%
			R2	T3, d1	3ml	6ml	100	20	6	4	7	80%
			R3	T3, d1	3ml	6ml	100	20	6	4	7	80%
			R1	T3, d2	7ml	10ml	100	20	6	4	7	80%
			R2	T3, d2	7ml	10ml	100	20	6	4	7	80%
			R3	T3, d2	7ml	10ml	100	20	6	4	7	80%
			R1	T3, d3	11ml	14ml	100	20	6	3	7	80%
			R2	T3, d3	11ml	14ml	100	20	6	3	7	80%
			R3	T3, d3	11ml	14ml	100	20	6	3	7	80%
4	Policloruro de Al+PA (0.1%)	5%	R1	T4, d1	3ml	6ml	100	10	6	5	7	90%
			R2	T4, d1	3ml	6ml	100	10	6	5	7	90%
			R3	T4, d1	3ml	6ml	100	10	6	5	7	90%
			R1	T4, d2	7ml	10ml	100	2	6	5	7	98%
			R2	T4, d2	7ml	10ml	100	2	6	5	7	98%

		R3	T4, d2	7ml	10ml	100	2	6	5	7	98%
		R1	T4, d3	11ml	14ml	100	2	6	4	7	98%
		R2	T4, d3	11ml	14ml	100	2	6	4	7	98%
		R3	T4, d3	11ml	14ml	100	2	6	4	7	98%
		R1	T5, d1	3ml	6ml	100	2	6	5	7	98%
		R2	T5, d1	3ml	6ml	100	2	6	5	7	98%
		R3	T5, d1	3ml	6ml	100	2	6	5	7	98%
		R1	T5, d2	7ml	10ml	100	2	6	4	7	98%
5	15%	R2	T5, d2	7ml	10ml	100	2	6	4	7	98%
		R3	T5, d2	7ml	10ml	100	2	6	4	7	98%
		R1	T5, d3	11ml	14ml	100	2	6	4	7	98%
		R2	T5, d3	11ml	14ml	100	2	6	4	7	98%
		R3	T5, d3	11ml	14ml	100	2	6	4	7	98%
		R1	T6, d1	3ml	6ml	100	2	6	4	7	98%
6		R2	T6, d1	3ml	6ml	100	2	6	4	7	98%
		R3	T6, d1	3ml	6ml	100	2	6	4	7	98%
		R1	T6, d2	7ml	10ml	100	2	6	4	7	98%
	25%	R2	T6, d2	7ml	10ml	100	2	6	4	7	98%
		R3	T6, d2	7ml	10ml	100	2	6	4	7	98%
		R1	T6, d3	11ml	14ml	100	5	6	4	7	95%
		R2	T6, d3	11ml	14ml	100	5	6	4	7	95%
		R3	T6, d3	11ml	14ml	100	5	6	4	7	95%

Tabla 8. Resultados de los tratamientos realizados en el trabajo experimental
Esparza, 2020

ACTIVIDADES	TIEMPO (MESES X SEMANAS)																							
	1er mes				2do mes				3er mes				4to mes				5to mes				6to mes			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
OBJETIVO 1																								
Toma de muestras del agua residual	■	■																						
Caracterización de las muestras			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
OBJETIVO 2																								
Obtención de químicos											■	■	■	■										
Aplicación de procesos de remediación														■	■	■	■	■						
OBJETIVO 3																								
Elaboración de propuesta																			■	■	■			
Análisis de resultados																					■	■		
Redacción de tesis																						■	■	■

Figura 22. Actividades para el desarrollo del trabajo experimental
Esparza, 2020

Figura 23. Toma de muestras del agua residual de la industria cosmética Esparza, 2020

Figura 24. Trampa de grasa ubicada en el interior de la industria cosmética Esparza, 2020

Figura 25. Alcantarilla de descarga del agua residual
Esparza, 2020

Figura 26. Estándar fotográfico de comparación de turbidez
Fuente: Camlab

Figura 27. Comparación de turbidez para cada experimento
Esparza, 2020

Figura 28. Tiras reactivas de pH
Esparza, 2020

Figura 29. Medición de pH para cada experimento
Esparza, 2020

Figura 30. Lectura de pH para cada experimento
Esparza, 2020

Figura 31. Solución con sulfato de aluminio (S. Al)
Esparza, 2020

Figura 32. Solución con policloruro de aluminio (PCA)
Esparza, 2020

Figura 33. Solución con poliacrilamida (PA)
Esparza, 2020

Figura 34. Sustancias químicas utilizadas como solución en los tratamientos físico-químicos
Esparza, 2020

Figura 35. Concentraciones de los tratamientos físico-químicos (coagulantes)
Esparza, 2020

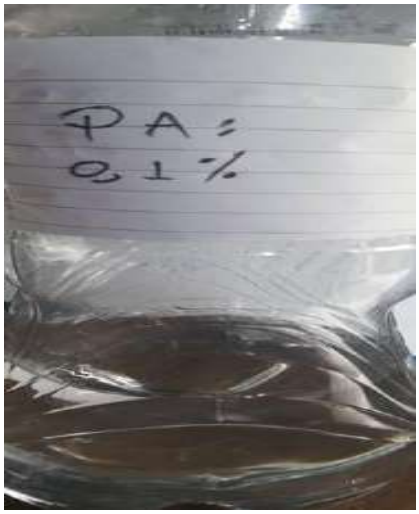

Figura 36. Concentración del floculante para cada experimento
Esparza, 2020

Figura 37. Resultado inicial de los parámetros del agua residual
Esparza, 2020

Figura 38. Evidencia del resultado inicial del agua residual
Esparza, 2020

Figura 39. Experimentos para la remediación del agua residual
Esparza, 2020

Figura 40. Filtración del agua tratada después de aplicar los tratamientos físico-químicos
Esparza, 2020

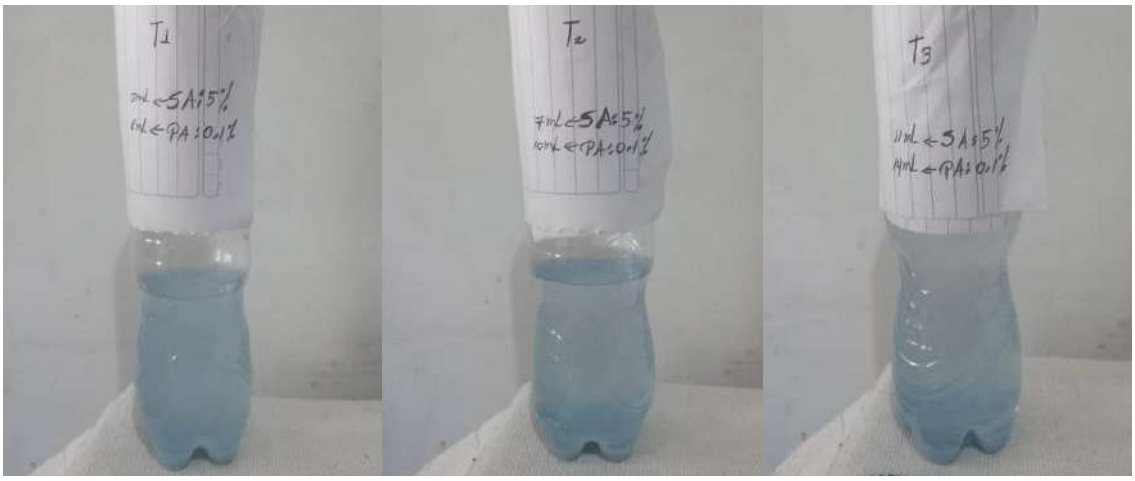

Figura 41. Agua tratada al 5% de sulfato de aluminio (S. Al) + PA (0.1%)
Esparza, 2020

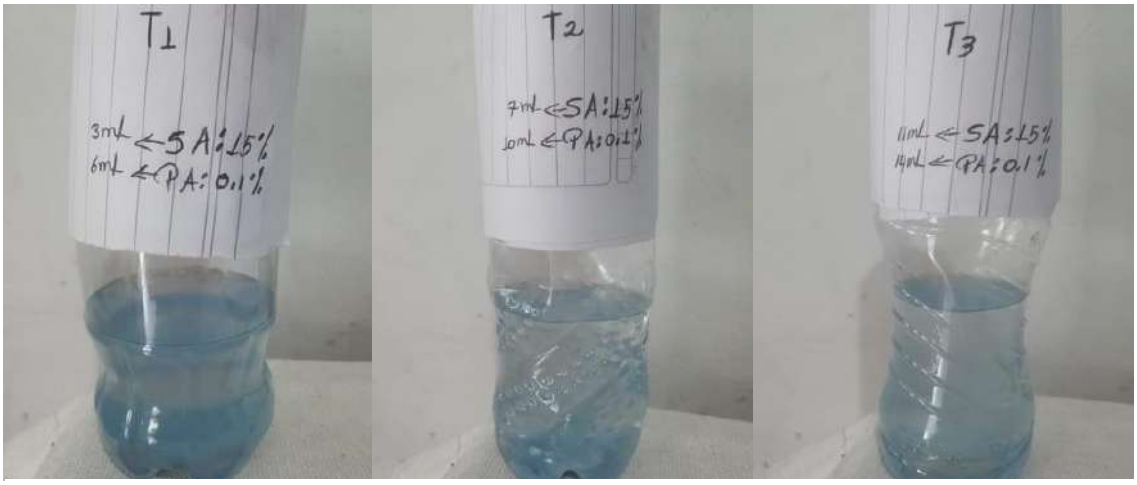

Figura 42. Agua tratada al 15% de sulfato de aluminio (S. Al) + PA (0.1%)
Esparza, 2020

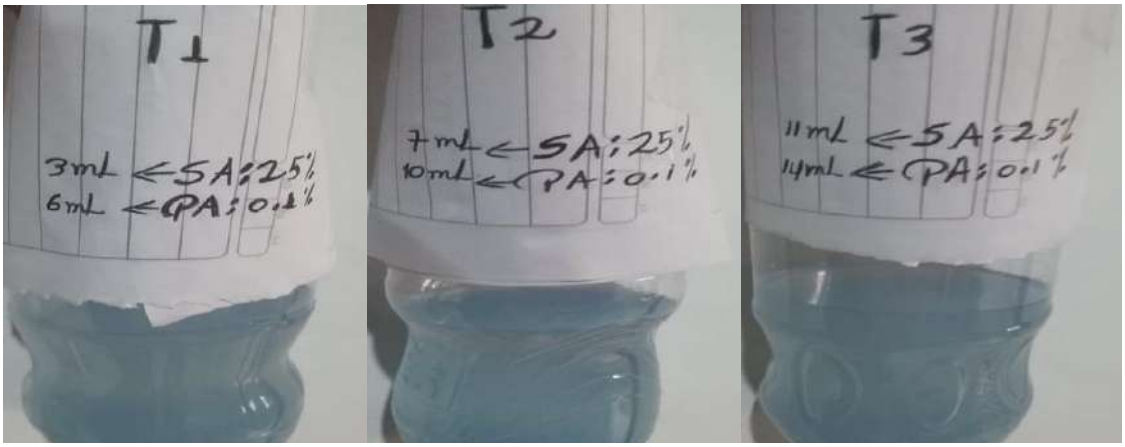

Figura 43. Agua tratada al 25% de sulfato de aluminio (S. Al) + PA (0.1%)
Esparza, 2020

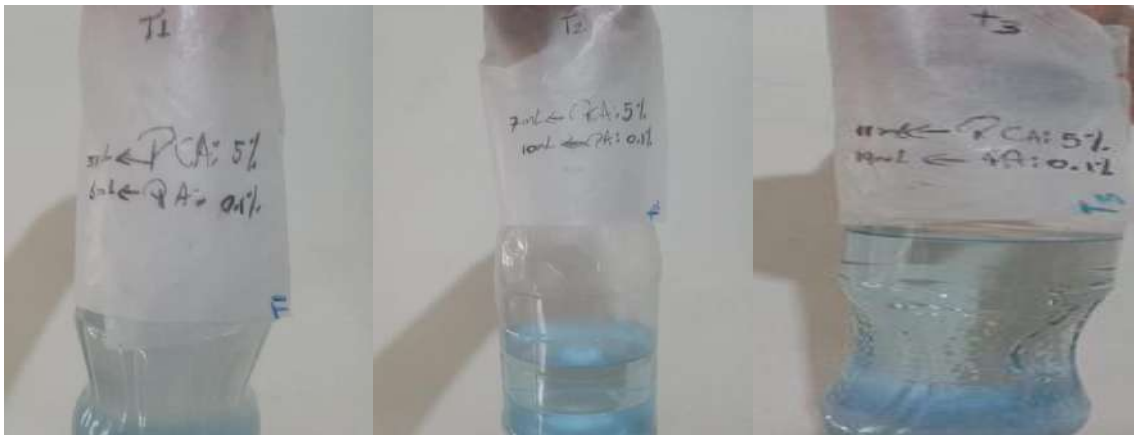

Figura 44. Agua tratada al 5% de policloruro de aluminio (PCA) + PA (0.1%)
Esparza, 2020

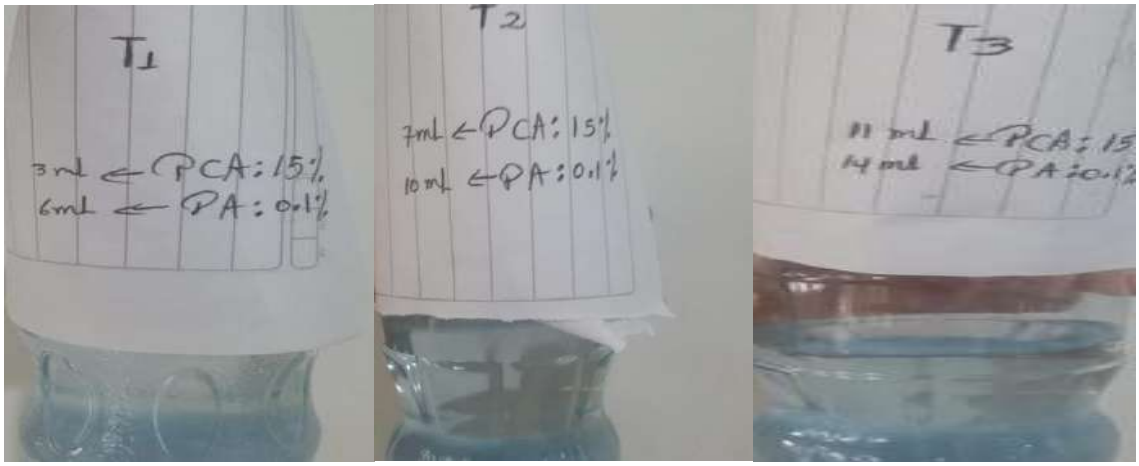

Figura 45. Agua tratada al 15% de policloruro de aluminio (PCA) + PA (0.1%)
Esparza, 2020

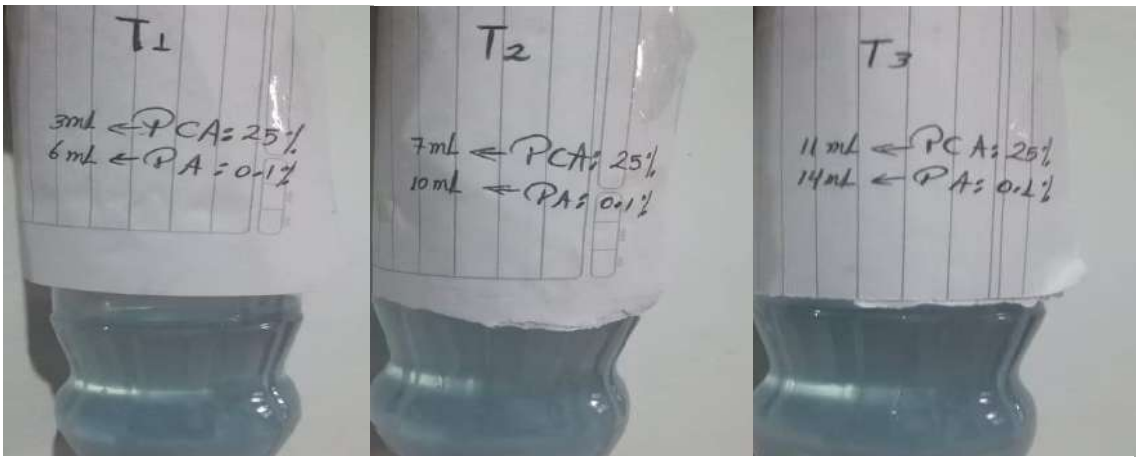

Figura 46. Agua tratada al 25% de policloruro de aluminio (PCA) + PA (0.1%)
Esparza, 2020