



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

**“EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE
COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN EN EL TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES EN UNA EMPRESA
PROCESADORA DE PLÁSTICO”
TRABAJO EXPERIMENTAL**

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

**AUTOR
TAMAYO SEGARRA MIGUEL ÁNGEL**

**TUTOR
BLGO. RAÚL ENRIQUE ARIZAGA GAMBOA M.Sc.**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021



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

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **BLGO. RAÚL ARIZAGA GAMBOA**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA EMPRESA PROCESADORA DE PLÁSTICO”**, realizado por la estudiante **TAMAYO SEGARRA MIGUEL ÁNGEL**; con cédula de identidad **N°0931881924** 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,

Firma del Tutor

Guayaquil, 26 de octubre de 2021



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 LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA EMPRESA PROCESADORA DE PLÁSTICO”** realizado por la estudiante **TAMAYO SEGARRA MIGUEL ÁNGEL**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Dr. Freddy Arcos Ramos
PRESIDENTE

Ing. Diego Muñoz Naranjo
EXAMINADOR PRINCIPAL

Blgo. Raúl Arízaga Gamboa
EXAMINADOR PRINCIPAL

Guayaquil, 25 de octubre de 2021

Dedicatoria

En primer lugar, le agradezco a Dios por permitirme llegar donde estoy, por iluminar mi camino, por llenarme de fortaleza y paciencia para guiarme hacia esta gran meta en mi vida.

A mis padres les agradezco por su apoyo incondicional, por creer en mí y siempre tener una voz de aliento en los momentos más difíciles, por inculcarme todos los valores que hacen de mi la persona que soy, a ellos les dedico todos mis triunfos y éxitos,

A mis hermanas, sobrinos Made, familia y amistades por brindarme algún consejo, por el apoyo que me han brindado, sé que con su granito de arena no hubiese podido haber alcanzado este logro en mi vida.

Agradecimiento

En primer lugar, le doy gracias a Dios, por permitirme contar con salud, inteligencia y perseverancia y de disfrutar de mi familia, segundo a mi familia, ya que gracias al apoyo de ellos no hubiera alcanzado esta meta planteada.

A mis amistades que aportaron con su granito de arena. Le doy gracias a la universidad por haberme dado la bienvenida, a los maestros por compartir sus conocimientos y por último dar gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es lo justa que puede llegar a ser, no ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa empatía, han hecho que lo complicado de lograr esta meta, se ha notado menos, les agradezco y hago mi presente, mi gran afecto hacia ustedes.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, **TAMAYO SEGARRA MIGUEL ÁNGEL**, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre **“EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA EMPRESA PROCESADORA DE PLÁSTICO”** para optar el título de **INGENIERO 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 autor(a) 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, 25 de octubre de 2021

FIRMAR

Tamayo Segarra Miguel Ángel
C.I. 0931881924

Índice general

APROBACIÓN DEL TUTOR	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	3
Dedicatoria	4
Agradecimiento	5
Autorización de Autoría Intelectual	6
Índice general.....	7
Índice de tablas	11
Índice de figuras	12
1. Introducción	15
1.1 Antecedentes del problema.....	15
1.2 Planteamiento y formulación del problema.....	17
1.2.1 Planteamiento del problema.....	17
1.2.2 Formulación del problema.....	17
1.3 Justificación de la investigación.....	18
1.4 Delimitación de la investigación	19
1.5 Objetivo general	19
1.6 Objetivos específicos.....	20
1.7 Hipótesis	20
2. Marco teórico.....	21
2.1 Estado del arte.....	21
2.2 Bases teóricas	23
2.2.1 Contaminación hídrica.....	23
2.2.2 Tipos de agua residual.....	23
 2.2.2.1 Aguas residuales industriales.....	24

2.2.2.2 Aguas residuales urbanas	24
2.2.2.3 Aguas residuales agrícolas	24
2.2.3 Planta de Tratamiento de Agua	24
2.2.4 Coagulación	25
2.2.4.1 Partículas coloidales.....	25
2.2.4.2 Coagulantes.....	25
2.2.4.3 Tipos de coagulantes.....	26
2.2.4.3.1 Coagulantes sintéticos	26
2.2.4.4 Sales de Aluminio	26
2.2.4.4.1 Sulfato de aluminio	26
2.2.4.4.2 Policloruro de aluminio	27
2.2.4.4.3 Coagulantes naturales.....	27
2.2.4.5 Tipos de coagulación.....	27
2.2.4.5.1 Coagulación por absorción.....	28
2.2.4.5.2 Coagulación por barrido	28
2.2.4.6 Factores que influyen en la coagulación.....	28
2.2.4.7 Influencia de la mezcla.....	29
2.2.5 Floculación	29
2.2.5.1 Factores que influyen en la floculación.....	30
2.3 Marco legal	30
2.3.1 Ley de la Constitución de la República del Ecuador	30
2.3.2 Ley de Gestión Ambiental.....	31
2.3.3 Ley Orgánica de Recursos Hídricos	32
2.3.4 Código Orgánico del Ambiente	32
2.3.6 Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013	34

3. Materiales y Métodos	35
3.1 Enfoque de la investigación	35
3.1.1 Tipo de investigación	35
3.1.1.1 Investigación experimental.....	35
3.1.2 Diseño de investigación.....	35
3.2 Metodología	35
3.2.1 Variables	35
3.2.1.1 Variable independiente	35
3.2.1.2 Variable dependiente	35
3.2.2 Tratamientos.....	36
3.2.3 Diseño experimental	36
3.2.4 Recolección de datos.....	36
3.2.4.1 Recursos.....	36
3.2.4.1.1 Materiales e insumos.....	36
3.2.4.1.2 Reactivos	37
3.2.4.1.3 Recursos bibliográficos	37
3.2.4.2 Métodos y técnicas	37
3.2.4.2.1 Técnica para la Prueba de Jarras.....	37
3.2.4.2.2 Técnica para medir pH	39
3.2.4.2.3 Técnica para medir Turbidez.....	39
3.2.4.2.4 Técnica para medir color	39
3.2.5 Análisis estadístico	40
4. Resultados.....	41

4.1 Caracterización de las aguas industriales mediante la medición de parámetros de calidad del agua, tales como: pH, turbidez y color para la detección de su nivel de concentración.....	41
4.2 Determinación de la dosis óptima de policloruro de aluminio mediante un estudio de tratabilidad por pruebas de jarras	41
4.3 Comparar los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles de calidad de agua mediante lo establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1.....	44
5. Discusión	46
6. Conclusiones.....	48
7. Recomendaciones.....	49
8. Bibliografía	50
9. Anexos	56

Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas del lugar de estudio.....	19
Tabla 2. Modelo experimental aplicar.	36
Tabla 3. Resultados de la caracterización inicial de la muestra compuesta de agua residual	41
Tabla 4. Resultados de los 4 tratamientos con distintas dosis aplicadas	42
Tabla 5. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) y Test de Tukey en los distintos tratamientos	43
Tabla 6. Comparación de los resultados con la normativa ambiental aplicable	44

Índice de figuras

Figura 1. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.	56
Figura 2. Diagrama de flujo de la PTAR.....	57
Figura 3. Ubicación de la empresa procesadora de plásticos.	58
Figura 4. Área de producción.....	58
Figura 5. Salida del agua de enfriamiento, conducida a la piscina de almacenamiento de aguas residuales.	59
Figura 6. Piscina de almacenamiento de aguas residuales del procesamiento de plásticos.....	59
Figura 7. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.	60
Figura 8. Procesamiento de la prueba de jarras.....	60
Figura 9. Aplicación del reactivo utilizado para el tratamiento de aguas residuales.	61
Figura 10. Medición del policloruro de aluminio	61
Figura 11. Toma de potencial de hidrógeno en los tratamientos de aguas residuales.	62
Figura 12. Resultados de los análisis de turbidez en los tratamientos	62

Resumen

La presente investigación evaluó los procesos de coagulación-floculación mediante la determinación de dosis óptima en la prueba del Test de Jarras, con el fin de mejorar la calidad de agua tratada. Mediante la prueba del Test de Jarras se determinó la dosis óptima de policloruro de aluminio, donde el Tratamiento 3 (T3) [3% (30 gr) de policloruro de aluminio] obtuvo mejor resultado, pues hubo un alto porcentaje de remoción de turbidez (79,62%) en comparación a los demás tratamientos [(T1=68.52%), (T2=64.81%), (T4=69.44%)] respectivamente. En relación al color real, T2, T3 y T4 alcanzaron un porcentaje de remoción del 15.38%, mientras que, T1 no hubo remoción. Por lo tanto, se cumple la hipótesis de investigación porque se redujo la concentración de los parámetros físicos-químicos a evaluar (turbidez, color) en las aguas residuales de la empresa procesadora de plástico mediante la aplicación de policloruro de aluminio. Se verificó que los resultados tanto de la caracterización inicial del agua residual como de la aplicación de los tratamientos cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1.

Palabras clave: ANOVA, coagulación, dosis óptima de coagulante, floculación tratamiento de aguas.

Abstract

The present investigation evaluated the coagulation-flocculation processes by determining the optimum dose in the Jar Test, with the aim of improving the quality of treated water. Through the test of the Jar Test, the optimal dose of aluminum polychloride is determined, hence Treatment 3 (T3) [3% (30 gr) of aluminum polychloride] obtains the best result, which has a high percentage of turbidity removal (79.62%) compared to other treatments [(T1=68.52%), (T2=64.81%), (T4=69.44%)] respectively. In relation to the real color, T2, T3 and T4 reached a removal percentage of 15.38%, whereas T1 in the removal hub. Therefore, the investigation hypothesis is fulfilled because it reduces the concentration of the physical-chemical parameters to be evaluated (turbidity, color) in the wastewater of the plastic processing company through the application of aluminum polychloride. It was verified that the results of both the initial characterization of the waste water and the application of the treatments comply with the maximum permissible limits established in the Ministerial Agreement 097-A, Annex 1.

Keywords: ANOVA, coagulation, optimal coagulant dose, flocculation, water treatment.

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

A nivel mundial, la contaminación del agua causada por la generación de plásticos es uno de problemas ambientales más importantes que enfrenta la sociedad actual. García, Gortáñez y Drogui (2015) aseguran que las actividades de producción de envases, los cuales, durante su fabricación emplean grandes volúmenes de agua se encuentran llenas de compuestos adicionales que alteran su composición dando lugar a la contaminación química del agua, en años recientes se han detectado en el agua la presencia de sustancias denominadas contaminantes emergentes.

Gran parte de la producción global de aguas residuales tiene como fuente receptora los cuerpos de agua. La Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2019) afirma que el 80% de las aguas residuales tienen como destino final algún cuerpo hídrico y solo el 71% de ellas son de uso agrícola e industrial, esto acompañado con el crecimiento demográfico e industrial generan una mayor producción de aguas residuales.

Las causas como el incremento de la producción de aguas residuales, crecimiento demográfico y ausencia de infraestructura de saneamiento son elementos clave que se conjugan para el deterioro ambiental. Así, estas aguas residuales son de los pocos recursos cuya disponibilidad va incrementarse exponencialmente en las próximas décadas, la capacidad de saneamiento de las aguas residuales, aunque también está aumentando, no se desarrolla al mismo tiempo, como consecuencia, la mayoría de los efluentes se descargan al ambiente sin tratamiento (Villena, 2018).

Existe una diversificación de procesos de depuración de aguas residuales utilizados en países de latinoamericanos, como en el resto de continentes. Díaz y Nahum (2014) sostienen que los países en vías de desarrollo, los procesos de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas, se realiza usando materias primas importadas, un caso modelo es Costa Rica, este introdujo alrededor de 3.000 toneladas anuales de sulfato de aluminio, lo equivalente a medio millón de dólares por año, durante los últimos 5 años.

En el mismo contexto, la normativa ambiental juega un papel importante en cuanto a la prevención de la contaminación ambiental. En ese sentido, Araujo, Molina y Noguera (2018) afirman que, para el control de descargas y tratamiento del agua, países latinoamericanos adoptan reglamentos basados en las Guías para la Calidad del Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud. Por su parte, Ecuador, se ampara en la Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua, en donde se establecen los parámetros y límites máximos permisibles en los vertimientos a cuerpos de aguas superficiales.

En una empresa procesadora de plástico, su Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) dispone de un tanque de almacenamiento para las aguas residuales provenientes de los procesos de enfriamiento, donde posteriormente son llevadas mediante bombeo a unos tanques de reactivos, aquí el agua cruda es homogenizada mediante hélices, luego de ser homogeneizadas se conduce al proceso de coagulación-floculación y posteriormente, filtración y sedimentación de lodos. El proceso de coagulación-floculación requiere mejoramiento, a pesar de realizar un tratamiento completo del agua aún presenta inconvenientes en cuanto a la calidad, parámetros como turbidez y color continúan fuera de la normativa. Es importante su tratamiento, de este modo el agua pueda ser reutilizada en otras

actividades, es por ello, que dentro de este estudio se realizará una caracterización del agua preliminar para así encontrar la dosis adecuada que permita la remoción de los contaminantes y cumplir con los estándares establecidos, usando el método del Test de Jarras como principal alternativa para determinar la dosis óptima.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

La empresa procesadora de plástico se dedica a la fabricación de productos tales como láminas y espumaflex, entre otros; a base de residuos plásticos. Debido, la empresa está comprometida con el medio ambiente puso en marcha la construcción y funcionamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Sin embargo, el proceso de coagulación-floculación de la planta requiere mejoramiento. El encargado de la planta no cuenta con las técnicas necesarias para determinar la dosis óptima para eliminación de contaminantes presentes en el agua residual de la empresa.

No se realizan análisis para determinar la dosificación correcta, pues el método que aplican no es el adecuado para efectuar una dosificación correcta durante el proceso de coagulación.

Ausencia de disponibilidad de los insumos y equipos de laboratorio para llevar a cabo la fase la experimental y determinar la dosis óptima para eliminación de contaminantes.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuáles son las dosis adecuadas para un proceso de coagulación-floculación sabiendo que la técnica de dosificación no es la adecuada para las aguas residuales de la empresa procesadora de plástico?

1.3 Justificación de la investigación

La industria en la cual se plantea el proyecto es netamente de fabricación de láminas y espumaflex, entre otros; a base de residuos provenientes del reciclaje. El agua cruda proveniente de los procesos de fabricación se trata para su ciclo de reutilización, sin embargo, el agua ya tratada no cumple con ciertos parámetros de calidad, esto se debe a que la dosificación del coagulante empleado en las pruebas de laboratorio no es la adecuada verificando que se tenía una mala práctica en la selección de la dosis de coagulante óptima. De hecho, Zhang y Luo (2004) sostienen que debido a la muy estrecha relación entre la dosis de coagulante y los parámetros físicos-químicos como turbidez, pH, color, alcalinidad, temperatura del agua, es necesario establecer nuevos mecanismos que permitan la determinación de una dosis adecuada de coagulante considerando los cambios que los parámetros físico-químicos puedan presentar. La PTAR de la empresa procesadora de plástico es de tipo convencional, la cual solo necesita tratamientos primarios, como son coagulación-floculación, y un filtrado a base de arena, carbón activado y grava, la dosificación se realiza de manera manual sin un debido análisis previo.

Según Bacilio (2016), el proceso de coagulación–floculación consiste en añadir al agua o agua residual determinados aditivos químicos con el objetivo de favorecer la sedimentación de materia coloidal no sedimentable o aumentar la rapidez de sedimentación por la formación de flóculos. La eliminación de estas partículas puede realizarse mediante la adición de los compuestos químicos llamados coagulantes que logran desestabilización en la partícula coloidal, las cuales están cargadas eléctricamente y presentan una doble capa eléctrica que le da estabilidad al sistema.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** El trabajo se realizará en las instalaciones de la empresa procesadora de plástico.

Tabla 1. Coordenadas del lugar de estudio

X	Y
640912,62	9753553.3
640928,18	9753547.3
640926,29	9753543.9
640993,45	9753527.8
640940,59	9753472.9
640889,32	9753485.3
640903,26	9753496.5
640912,62	9753553.3

Coordenadas de la ubicación de la empresa
Autor, 2021

- **Tiempo:** El tiempo que tomara realizar el trabajo será de 5 meses en los cuales se tomaran muestras y se procederá hacer la medición de los parámetros físicos-químicos.
- **Población:** La empresa procesadora de plástico tiene una población de 30 trabajadores, cuyas edades oscilan en un rango de entre 29 a 45 años en la planta industrial, trabajando en turnos rotativos y la cantidad de agua a tratar es de 160 L de agua residual.

1.5 Objetivo general

Evaluar los procesos de coagulación-floculación mediante la determinación de dosis óptima en el ensayo de Test de Jarras, con el fin de mejorar la calidad de agua tratada.

1.6 Objetivos específicos

- Caracterizar las aguas de la empresa mediante la medición de parámetros físicos-químicos (pH, turbidez, color) para la detección de su nivel de concentración.
- Determinar la dosis óptima de policloruro de aluminio a través del Test de Jarras.
- Comparar los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles de calidad de agua mediante lo establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1.

1.7 Hipótesis

Mediante la aplicación de policloruro de aluminio se reduce la concentración de los parámetros físicos-químicos a evaluar en las aguas residuales de la empresa procesadora de plástico.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Orsi y Mendes (2009) implementaron un sistema de tratamiento físicos-químicos utilizando policloruro de aluminio para aguas residuales procedentes del reciclaje de plásticos. Los resultados del sistema de tratamiento de efluentes residuales demostraron una alta reducción de valores de turbidez, aceites y grasas, con eficiencias superiores al 90%, concluyendo que la calidad de dichas aguas tratadas es ideal para efectuar un proceso de reutilización.

Ortega y Reyes (2011) proponen un rediseño básico de la Planta de Reciclaje PET de Polisuin S.A. y un sistema de tratamiento de aguas residuales. Los resultados determinaron que el policloruro de aluminio (PAC) alcanzó mayor porcentaje de reducción de sólidos suspendidos totales (SST) en las pruebas realizadas con un valor de 94,82% usando la mayor concentración (2,4 g/L). Además, comparado con el hidróxido de calcio (CaOH_2) y sulfato de aluminio (Al_2SO_4_3), la menor concentración de policloruro experimentada (0,8g/L), redujo la turbidez a 637 FTU, mientras que para alcanzar una turbidez semejante con los demás coagulantes se necesitaría más concentración. Por lo tanto, el uso de policloruro permite la depuración de las aguas residuales del lavado y su reutilización al proceso.

Ujacov , Franciéli , Bettiol y Bordin (2012) analizaron el efluente de una empresa de reciclaje de plásticos caracterizando el efluente mediante análisis físicos-químicos de pH, turbidez, sólidos sedimentables, totales, fijos y volátiles, demanda química de oxígeno, conductividad y temperatura. El tratamiento se simuló por medio del Test de Jarras empleando sulfato de aluminio como coagulante al 1% y solución alcalinizante de carbonato de sodio al 1%, de los cuales, el mejor resultado

fue una turbidez de 13.9 NTU, con una reducción significativa de sólidos, DQO, así como una apariencia transparente e incolora. Finalmente, se obtuvo agua que puede ser reutilizada en los procesos industriales de la empresa.

Alves *et al.* (2015) evaluaron el proceso de coagulación-floculación utilizando cloruro férrico (FeCl_3), sulfato de aluminio [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$] y policloruro de aluminio (PAC) para el tratamiento de efluentes procedentes del lavado de plásticos. Durante las pruebas experimentales los valores de dosis de coagulantes cloruro férrico, sulfato aluminio y policloruro de aluminio se fijaron entre 5 mg/L y 65 mg/L. Los resultados de los análisis físicos-químicos evidenciaron que el proceso de coagulación- floculación con PAC tuvo una eficiencia de remoción con 53% de turbidez, 60% DBO (demanda biológica de oxígeno), 65% DQO (demanda química de oxígeno y 58% ST (sólidos totales).

Alberton *et al.* (2016) usó el tanino como alternativa en el tratamiento y posterior reutilización de efluentes en operaciones de lavado en unidades industriales de reciclaje de plásticos. Se realizó el tratamiento del efluente mediante un proceso físicos-químico (prefiltración, coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección). Durante el análisis de las muestras de efluentes se efectuó la medición de la demanda química de oxígeno; demanda de oxígeno bioquímico; sólidos fijos, detergentes, aceites y grasas; color y turbidez. Los resultados obtenidos mostraron que, con el uso de tanino como floculante, la demanda química de oxígeno se redujo de 690 a 9,84 ppm, una eficiencia del proceso en torno al 98%, además, se observó que el efluente crudo presentó disminución tanto en el color (136 a 11 Hz) como en la turbidez (76 a 4 UNT). Se recomendó que el efluente tratado sea reutilizado en los tanques de lavado del proceso de reciclaje de plásticos.

Straioto (2019) efectuó el tratamiento de un efluente de procesos de lavado de plásticos, en una industria de reciclaje. A escala de banco, mediante los procesos físicos-químicos de coagulación, floculación y sedimentación, se realizaron comparaciones de tres coagulantes (policloruro de aluminio, cloruro férrico y tanino orgánico) para la remoción de turbidez, color aparente y demanda química de oxígeno. Se verificó que las mayores remociones de turbidez, color aparente y DQO se lograron al utilizar coagulante orgánico y policloruro de aluminio, dosis de tanino orgánico aproximadamente 80 mg/L y dosis de policloruro entre 25 y 35 mg/L combinado con dosis de polímeros floculantes entre 3 y 4 mg/L, los porcentajes máximos de remoción fueron 99.97% (0,10), 99.87% (1uH) y 99.59% (10,49 mg/L) en ambos casos, respectivamente.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Contaminación hídrica

La contaminación del agua tiene un efecto perjudicial y desestabilizador en el ambiente. Espinosa (2020) manifiesta que la contaminación hídrica es la alteración de la calidad de un cuerpo de agua por acción de sustancias y fluidos tóxicos, dicha contaminación es asociada al avance tecnológico, pues el ser humano en la búsqueda de mejora continua utiliza nuevos elementos y recursos, que al no desecharse de manera adecuada se convierten en fuentes de alta contaminación.

2.2.2 Tipos de agua residual

Las aguas residuales se clasifican de diversas formas, dependiendo el punto de vista de cada autor. En ese sentido, Hidrotec (2016) menciona que existen tres tipos de aguas residuales: industrial, urbana y agrícola. También hace hincapié sobre la diferenciación de cada una, su origen e importancia en la identificación de los diferentes contaminantes, esto con el propósito de explotar infraestructuras,

tanto de acopio como de tratamiento y posterior evacuación de efluentes residuales.

2.2.2.1 Aguas residuales industriales

Es exclusiva de aquellas empresas que como resultado de sus actividades productivas realizan descargas líquidas a fuentes receptoras circundantes. Marticorena y Zevallos (2017) sostienen que se originan desechos líquidos industriales por la diversidad de procesos y en relación a ello, la cantidad y concentración de contaminantes varían según el tiempo del funcionamiento de las industrias dependiendo de la demanda del mercado y la producción.

2.2.2.2 Aguas residuales urbanas

Del mismo modo que el sector industrial, el sector urbano, particularmente, las áreas urbanas son fuentes de contaminación hídrica. En ese sentido, las aguas residuales urbanas es todo conjunto de aguas de origen antropogénico que provienen de viviendas, comercios, edificios, etc., estas aguas están formadas por un 99% de agua y un 1 % de sólidos en suspensión (Cisneros, 2013).

2.2.2.3 Aguas residuales agrícolas

Otra de las fuentes de contaminación hídrica, son las aguas residuales procedentes del sector agrícola, estas contienen desechos nocivos para el ambiente. Es, así pues, la necesidad de maximizar las cosechas y satisfacer la demanda ha provocado con más frecuencia emplear fertilizantes y plaguicidas químicos, convirtiendo al sector agrícola en una fuente potencial de contaminación para los cuerpos hídricos y el ambiente (Fundación Aquae, 2017).

2.2.3 Planta de Tratamiento de Agua

Es una infraestructura construida para la depuración del agua. Es, así pues, que dentro de esta infraestructura ocurre un conjunto de operaciones unitarias

empleadas para la remoción de agentes químicos, físicos y microbiológicos presentes en el agua hasta alcanzar los límites permisibles que indican los diferentes organismos encargados (Chulluncuy, 2011).

2.2.4 Coagulación

La coagulación es uno de los procesos más empleados en cuanto a tratamiento de efluentes residuales se refiere. En ese sentido, la coagulación permite la remoción de partículas coloidales y suspendidas del agua, además de disminuir la turbidez, elimina parcialmente el color, bacterias y virus (Villabona, Guzman y Tejada, 2013). Para que ocurra un proceso de coagulación, es imperante que deba existir una desestabilización coloidal. Díaz *et al.* (2017) afirman que la desestabilización de partículas coloidales es llevada a cabo por la adición de un agente químico conocido como coagulante, una vez desestabilizadas las partículas, estas experimentan el proceso de floculación.

2.2.4.1 Partículas coloidales

Como se describió previamente, la coagulación tiene como finalidad la remoción de partículas coloidales. Las partículas coloidales son responsables de varios fenómenos superficiales presentes en el agua, usualmente, estas partículas en el agua poseen un diámetro entre 1 a 1.000 micrómetros y su comportamiento depende de su naturaleza y procedencia, estas partículas son causantes de la turbidez en el agua (Jirgenson, 1992).

2.2.4.2 Coagulantes

Como se indicó anteriormente, no se lleva a cabo una coagulación química sin la adición de un coagulante químico. Así que, usualmente, son compuestos químicos electronegativos que logran inestabilidad en la materia suspendida de la carga coloidal presente en el agua (Marticorena y Zevallos, 2017).

2.2.4.3 Tipos de coagulantes

Existe una variedad de coagulantes disponibles en el mercado global, específicamente, sintéticos y naturales. Es importante recalcar que, los coagulantes usados con mayor frecuencia son de origen sintético, los cuales son fabricados a base de sales de hierro, aluminio, cal, polímeros entre otros. Sin embargo, se han realizado estudios y experimentación con coagulantes naturales elaborados a base de almidón, pulpas de frutas y semillas (Díaz y Nahum, 2014).

2.2.4.3.1 Coagulantes sintéticos

Los coagulantes sintéticos son compuestos químicos artificiales que se producen a nivel industrial. Ojeda (2012) indica que diluidos en agua favorecen la separación de una fase insoluble, produciendo una reacción química con los componentes del agua formando coágulos y flóculos, que posteriormente, se sedimentan por su propio peso. Por otro parte, los coagulantes sintéticos, además de formar coágulos que se separaren mediante métodos de separación sólido-líquido, buscan reducir el volumen de lodos y no aumentar la conductividad del efluente (Servyeco, 2018).

2.2.4.4 Sales de Aluminio

Del amplio espectro de las sales de aluminio, las empleadas como coagulantes químicos para la clarificación del agua residual, tenemos: sulfato de aluminio y policloruro de aluminio.

2.2.4.4.1 Sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio como coagulante químico inorgánico utilizado para clarificar los efluentes residuales tiene forma de polvo molido y posee un pH entre 5.5 a 8.8 (Restrepo, 2009). No obstante, no forma flóculos con mayor rapidez,

perfección, tiene menor velocidad de sedimentación y poder de clarificación en relación al policloruro de aluminio.

2.2.4.4.2 Policloruro de aluminio

El policloruro de aluminio como coagulante químico inorgánico utilizado para clarificar los efluentes residuales es color amarillo claro u obscuro, ligeramente ácido, soluble en agua, posee un pH entre 5 a 9, forma flóculos con mayor rapidez, perfección, posee mayor velocidad de sedimentación y poder de clarificación, respecto al sulfato de aluminio, logra remociones más altas de turbidez (Flores, 2011).

2.2.4.4.3 Coagulantes naturales

Aquellos coagulantes que no proceden de una fabricación industrial, se les denomina coagulantes naturales. En ese sentido, los coagulantes naturales tienen un origen animal o vegetal, son sustancias solubles en agua que actúan de manera similar a los sintéticos, aglomerando partículas presentes en el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial de la misma (García, 2007).

En el campo ambiental, los coagulantes naturales tienen un aspecto positivo, es decir, tienen menor impacto ambiental. Es, así pues, que son considerados amigables con el ambiente en comparación a los coagulantes sintéticos o inorgánicos debido a su biodegradabilidad (Diamadopoulos, Anastasakis y Kalderis, 2009).

2.2.4.5 Tipos de coagulación

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS, 2004) sostiene que los tipos de coagulación son: coagulación por absorción y coagulación por barrido.

2.2.4.5.1 Coagulación por absorción

La coagulación por absorción resulta de las interacciones agua-coagulante. CEPIS/OPS (2004) manifiesta que la coagulación por absorción se presenta cuando el agua tiene una alta concentración de partículas en estado coloidal, el coagulante se vierte en el agua turbia e inmediatamente los productos solubles del coagulante son adsorbidos por los coloides y forman los flóculos rápidamente.

2.2.4.5.2 Coagulación por barrido

A diferencia de la coagulación por absorción, la coagulación por barrido presenta un comportamiento distinto con respecto a la velocidad, tamaño de partícula, entre otros. CEPIS/OPS (2004) refiere que la coagulación por barrido aparece cuando el agua tiene poca turbidez y la cantidad de partículas coloidales es menor, además, los flóculos resultantes tienen mayor tamaño y poseen velocidades de sedimentación altas en comparación con el comportamiento de los flóculos en la coagulación por absorción.

2.2.4.6 Factores que influyen en la coagulación

Cárdenas (2000) indica que los factores que influyen en la coagulación del agua son el pH, influencia de las sales disueltas, temperatura del agua, tipo de coagulante utilizado y concentración de los coagulantes, estos se detallan a continuación:

- **Acidez o basicidad.** – El rango de pH dependerá de la naturaleza del agua y del tipo de coagulante
- **Influencia de las sales disueltas.** - Las sales influyen en la coagulación-floculación modificando el rango de pH, el tiempo requerido en la floculación y el número de coagulantes requeridos.

- **Temperatura del agua.** - El número de la temperatura acelera la coagulación o floculación e influyen en la formación de flocs.
- **Tipo de coagulante utilizado.** - El tipo de coagulante influye en la coagulación cuando se hace una comparación.
- **Concentración de los coagulantes.** - Un aumento excesivo de coagulante puede producir una saturación, actuando de manera contraria a lo que se espera.

2.2.4.7 Influencia de la mezcla

En síntesis, la coagulación química se ve afectada por el manejo de la mezcla. Así pues, es importante considerar que durante la coagulación el grado de agitación de la mezcla tiene que ser homogéneo y completo, una inadecuada agitación provoca turbulencias desiguales y mala distribución de la concentración del coagulante, por estas razones, la agitación debe ser uniforme en toda la masa de agua, tal que, produzca una reacción química de neutralización de cargas correspondientes (Chulluncuy, 2011).

2.2.5 Floculación

Posteriormente a la coagulación, procede el proceso de floculación. Guzmán, Villabona, Tejada y García (2013) indican que la floculación consiste en la agitación de la masa coagulante que permite el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de incrementar su volumen y peso requerido para sedimentarse con facilidad es decir, dichos flóculos inicialmente pequeños aparecen al conglomerarse aglomerados mayores con capacidad de sedimentarse.

2.2.5.1 Factores que influyen en la floculación

Bedoya y Giraldo (2012) indican que los factores que inciden en la floculación del agua son: concentración y naturaleza de las partículas, tiempo de detención y gradiente de rapidez, los cuales se describen a continuación:

- **Concentración y naturaleza de las partículas.** - La rapidez de formación del flóculo es proporcional al tamaño y concentración de partículas en el agua.
- **Tiempo de detención.** - La rapidez de aglomeración de partículas, la cual es proporcional al tiempo de detención debe ser cercano al calculado mediante el Test de Jarras, esto se logra dividiendo la unidad de floculación en cámaras, una mejor eficiencia resulta al incrementar la cantidad de cámaras de floculación en serie, como mínimo tres unidades.
- **Gradiente de rapidez.** - Es proporcional a la rapidez de aglomeración de las partículas, existe un tope máximo de gradiente que no debe superarse. Para impedir el rompimiento del flóculo, el gradiente a través de las cámaras será decreciente y sin cámaras intermedias con gradientes elevados.

2.3 Marco legal

Ley de la Constitución de la República del Ecuador

Título II

Derechos

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.

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.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Capítulo séptimo

Derechos de la naturaleza

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Régimen del buen vivir

Capítulo segundo

Biodiversidad y recursos naturales

Art. 396.- El estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.

Ley de Gestión Ambiental

Art. 33.- Establecen como instrumentos de aplicación de las normas ambientales los siguientes: parámetros de calidad ambiental, normas de efluentes y emisiones, normas técnicas de calidad de productos, régimen de permisos y licencias

administrativas, 40 evaluaciones de impacto ambiental, listados de productos contaminantes y nocivos para la salud humana y el medio ambiente, certificaciones de calidad ambiental de productos y servicios y otros que serán regulados en el respectivo reglamento.

Ley Orgánica de Recursos Hídricos

Usos y Aprovechamiento del Agua

Art. 64.- Conservación del agua. La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida. En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho:

a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares.

b) El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad.

c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico.

d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación.

e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos.

Código Orgánico del Ambiente

Capítulo III

De la Regularización Ambiental

Art. 173.- De las obligaciones del operador. El operador de un proyecto, obra y actividad, pública, privada o mixta, tendrá la obligación de prevenir, evitar, reducir y, en los casos que sea posible, eliminar los impactos y riesgos ambientales que pueda generar su actividad. Cuando se produzca algún tipo de afectación al ambiente, el operador establecerá todos los mecanismos necesarios para su restauración. El operador deberá promover en su actividad el uso de tecnologías ambientalmente limpias, energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto, prácticas que garanticen la transparencia y acceso a la información, así como la implementación de mejores prácticas ambientales en la producción y consumo.

Título III

Control y Seguimiento Ambiental

Art. 200.- Alcance del control y seguimiento. La Autoridad Ambiental Competente realizará el control y seguimiento a todas las actividades ejecutadas o que se encuentren en ejecución de los operadores, sean estas personas naturales o jurídicas, públicas, privadas o mixtas, nacionales o extranjeras, que generen o puedan generar riesgos, impactos y daños ambientales, tengan o no la correspondiente autorización administrativa.

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

5.1.1 Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico.

5.1.1.1 Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que se emplea en actividades como: a) Bebida y preparación de alimentos para consumo, b) Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios,

c) Fabricación o procesamiento de alimentos en general.

5.1.1.2 Esta Norma se aplica durante la captación de la misma y se refiere a las aguas para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran de tratamiento convencional, deberán cumplir con los siguientes criterios (Ver Anexo 1) (Figura 1).

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013

Objeto. - Esta norma establece las técnicas y precauciones generales que se deben tomar para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua incluyendo aquellas para análisis biológicos, pero no análisis microbiológicos.

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

3.1.1.1 *Investigación experimental*

Este tipo de investigación permitirá dentro de la investigación conceptualizar las variables, tema y objetivos de estudio, además, para definir bases referenciales que sirvan para justificar el objeto estudiado y su importancia. Se realizará análisis de cuatro tratamientos químicos donde se determinará el más adecuado.

3.1.2 Diseño de investigación

La presente investigación es netamente de carácter experimental, ya que, mediante una serie de pruebas de jarras con distinta dosificación de coagulante en una muestra de agua cruda cuya muestra fue tomada puntualmente en la industria y comparativa debido a que se procederá a realizar 3 réplicas por distinto porcentaje % de policloruro de aluminio con el fin de optimizar los procesos de coagulación-floculación con ello la calidad del agua tratada de la industria procesadora de plástico.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1 *Variable independiente*

- Dosis óptima de policloruro de aluminio

3.2.1.2 *Variable dependiente*

- Turbidez (NTU) inicial y final
- Potencial de hidrógeno (pH) inicial y final
- Color real inicial y final

3.2.2 Tratamientos

Los ensayos se testificaron mediante la obtención de diferentes concentraciones basados en pruebas preliminares de tipo exploratorio en los cuatro tratamientos, representados por T1, T2, T3 y T4. A cada una de las distintas concentraciones de policloruro de aluminio se le hará 3 réplicas (Ver Tabla 2). El Test de Jarras será la técnica experimental más apropiada debido a su flexibilidad con respecto al número de muestras, en total se efectuarán 12 ensayos con cuatro distintas concentraciones de policloruro de aluminio.

3.2.3 Diseño experimental

El presente estudio es de tipo experimental, ya que se tratan variables en la aplicación de tratamientos para conocer los efectos que tiene cada uno en la misma sobre estas aguas residuales. Se desarrollará con técnicas a nivel de laboratorio a través de una serie de cuatro ensayos mediante El Test de Jarras y cada uno con una dosis distinta, la muestra se tomar de manera puntual directamente del tanque de reactivos.

Tabla 2. Modelo experimental aplicar.

Tratamientos con policloruro de aluminio	Concentración de coagulante	Gradiente (rpm)		Tiempo(min)
		Mezcla rápida	Mezcla lenta	
T1	1%	100	40	1 min, 15 min
T2	2%	100	40	1 min ,15 min
T3	3%	100	40	1 min, 15 min
T4	5%	100	40	1 min, 15 min

Tamayo, 2021

3.2.4 Recolección de datos

3.2.4.1 Recursos

3.2.4.1.1 Materiales e insumos

- Envases para muestreo.
- Hojas de registro.
- Gramera
- Vasos de precipitación
- Agitador
- Agua cruda de la industria.

3.2.4.1.2 *Reactivos*

- Policloruro de aluminio.

3.2.4.1.3 *Recursos bibliográficos*

- Artículos científicos.
- Revistas.
- Informes.
- Tesis.

3.2.4.2 ***Métodos y técnicas***

Se extrajo una muestra compuesta de 6L de agua cruda de manera puntual de los tanques de reactivo previamente homogenizadas mediante lo establecido en la guía metodológica indicada en la normativa INEN 2169 sobre la toma de muestras de agua, la selección y preparación del recipiente a utilizar para tomar la muestra. Se transportó la muestra extraída al laboratorio de la empresa donde se llevó a cabo la caracterización de la muestra mediante una serie de análisis físico-químicos tales como lo son pH, turbidez y color.

3.2.4.2.1 *Técnica para la Prueba de Jarras*

Se procedió a realizar el Test de Jarras con el fin de encontrar la dosis óptima de entre los 4 tratamientos (Ver Anexo, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El Test de Jarras es una técnica de experimentación, se utiliza a

pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento, permite comparar varias combinaciones químicas, los tiempos de coagulación-floculación y la velocidad de agitación las cuales todas están sujetas a situaciones similares (Jimenez, 2001).

Se preparó la solución de policloruro de aluminio. Para el tratamiento 1 se procedió a utilizar una solución al 1% (10 gr) de policloruro de aluminio en 250 ml de agua residual de la industria procesadora de plástico, en donde procedimos a realizar la coagulación añadiendo dicha solución al 1% en nuestra muestra, inmediatamente realizamos la agitación rápida por 1 minuto, esto para facilitar la presencia cocs en la superficie de la muestra y luego la agitación lenta, por unos 15 minutos hasta formar las partículas floculantes. Realizamos 3 réplicas con este % de coagulante.

Para el tratamiento 2 utilizamos una solución al 2% (20gr) de policloruro de aluminio en 250 ml de agua residual, procedimos a añadir dicha solución de Policloruro de aluminio al 2% en nuestra muestra, inmediatamente comenzamos la agitación rápida por 1 minuto para facilitar la desestabilización de las partículas coloidales y luego la agitación lenta por unos 15 minutos se procedió a realizar 3 réplicas con este % de coagulante.

Para el tratamiento 3 la solución que usamos fue al 3% (30 gr) de policloruro de aluminio en 250 ml de agua residual, procedimos añadir la solución al 3% en la muestra de agua, inmediatamente realizamos la agitación rápida por 1 minuto y luego la agitación lenta por unos 15 minutos igualmente procedimos a realizar 3 réplicas con esta dosis.

Para el tratamiento 4 se utilizó una solución al 5% (50g) de policloruro de aluminio en 250 ml de agua residual, luego procedimos añadir la solución al 5% en

la muestra de agua, inmediatamente agitamos rápidamente por 1 minuto y luego agitamos lentamente por unos 15 minutos igual se realizó 3 réplicas con esta dosis (Ver Anexo, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

3.2.4.2.2 Técnica para medir pH

Se realizó la medición mediante la técnica electrométrica según el Método D-1283 Standard Methods for pH of Water, la medición se realizó en un pHmetro HACHsensION mm 374. Se reportó la lectura directa obtenida en el equipo se midieron valores duplicados, registrando valores promedios (Ver Anexo, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

3.2.4.2.3 Técnica para medir Turbidez

Se realizó la técnica nefelométrica acorde al Método 2130B de Standard Methods for the Examination of Water, empleando el turbidímetro HACH2100 Q. La nefelometría es el método utilizado para analizar la turbidez del agua, se basa en la dispersión de la radiación, en este caso, luz atraviesa un medio transparente en el que se encuentra una serie de partículas sólidas, dispersas en el medio (Carpio, 2007). Se tomó una alícuota del analito a temperatura ambiente y se agito para romper los agregados de floculación, se introdujo el analito en el vial de vidrio previamente purgado y se introdujo la muestra en el turbidímetro, se dio lugar a la lectura obteniendo el resultado directamente en la pantalla, la lectura se realizó por triplicado, se tomó un valor como promedio (Ver Anexo, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

3.2.4.2.4 Técnica para medir color

La medición de color se realizó según lo establecido en la Técnica Hazen PtCo-Fotométrica, se empleó un espectrofotómetro marca Spectroqart NOVA 60 siguiendo el Protocolo del Kit Fotométrico del Spectroqart NOVA 60.

3.2.5 Análisis estadístico

En la presente investigación se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) y Test de Tukey, estos análisis se realizaron mediante el software Minitab 19. Se empleó la siguiente prueba de hipótesis con un nivel de significancia de 0.05, el cual se detalla a continuación:

H₀: Los efectos de las distintas dosis de policloruro de aluminio son iguales en todos los tratamientos.

H_A: Los efectos de las distintas dosis de policloruro de aluminio no son iguales en todos los tratamientos.

4. Resultados

4.1 Caracterización de las aguas industriales mediante la medición de parámetros de calidad del agua, tales como: pH, turbidez y color para la detección de su nivel de concentración

En la Tabla 3 se aprecian los valores resultantes del proceso de caracterización de la muestra compuesta tomada en los tanques de reactivo de la PTAR. La medición de los parámetros físicos-químicos (pH, turbidez y color) iniciales muestran que los valores obtenidos en la muestra 3 (M3) fueron superiores a las demás muestras.

Tabla 3. Resultados de la caracterización inicial de la muestra compuesta de agua residual

N de muestras	Turbidez (NTU)	Potencial de hidrógeno (pH)	Color real	Horario de toma de muestra (horas)
M1	9.9	8.3	10	9:00 am
M2	10.2	8.2	13	12:00 am
M3	12.4	8.4	15	15:00 pm
Promedio	10.8	8.3	13	

Autor, 2021

4.2 Determinación de la dosis óptima de policloruro de aluminio mediante un estudio de tratabilidad por pruebas de jarras

En la Tabla 4 están representados los valores resultantes de los 4 tratamientos con sus respectivas réplicas una vez efectuado la prueba del Test de Jarras y la medición final de los parámetros físicos-químicos.

Tabla 4. Resultados de los 4 tratamientos con distintas dosis aplicadas

Tratamientos	Réplicas	Turbidez (NTU)	Potencial de hidrógeno (pH)	Color real	% Remoción de Turbidez respecto a la muestra inicial	% Remoción de color real respecto a la muestra inicial
T1	R1	4.3	7.52	13.0	-----	-----
	R2	2.5	7.52	13.0	-----	-----
	R3	3.5	7.52	13.0	-----	-----
Promedio	-----	3.4	7.52	13.0	68.52	0
T2	R4	4.5	7.80	11.0	-----	
	R5	2.4	7.82	11.0	-----	
	R6	4.4	7.82	11.0	-----	
Promedio	-----	3.8	7.81	11.0	64.81	15.38
T3	R7	1.8	8.15	11.0	-----	
	R8	2.8	8.15	11.0	-----	
	R9	2.0	8.14	11.0	-----	
Promedio	-----	2.2	8.14	11.0	79.62	15.38
T4	R10	2.0	8.20	11.0	-----	
	R11	3.0	8.19	11.0	-----	
	R12	5.0	8.20	11.0	-----	
Promedio	-----	3.3	8.19	11.0	69.44	15.38

Autor, 2021

La Tabla 4 muestra que el tratamiento 3 obtuvo mejor resultado en comparación a los demás tratamientos, pues hubo mayor remoción de turbidez frente a la turbidez inicial, es decir 79,62%. En relación al color real, T2, T3 y T4 se calculó un porcentaje de remoción del 15.38%, mientras que en T1 no hubo remoción; pH se mantuvo en una tendencia hacia el rango alcalino, por lo tanto, la dosis óptima buscada pertenece al tratamiento antes mencionado.

En la Tabla 5 se detallan los datos obtenidos del análisis de varianza (ANOVA) y Test de Tukey a cada uno de los parámetros físico-químicos (turbidez, pH y color).

Tabla 5. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) y Test de Tukey en los distintos tratamientos

Análisis de varianza (ANOVA)						Test Tukey confianza del 95%			
Variables	Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor p.	Factor	N	Media	Agrupación
Turbidez (NTU)	Factor	3	4.177	1.392	0.385	T2	3	3.767	A
	Error	8	9.66	1.208		T1	3	3.433	A
	Total	11	13.837			T4	3	3.333	A
						T3	3	2.2	A
Potencial de hidrogeno (pH)	Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor p.	Factor	N	Media	Agrupación
	Factor	3	0.897892	0.299297	<0.05	T4	3	8.19667	A
	Error	8	0.0004	0.00005		T3	3	8.14667	B
	Total	11	0.898292			T2	3	7.81333	C
T1						3	7.52	D	
Color real	Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor p.	Factor	N	Media	Agrupación
	Factor	3	24	8	<0.05	T1	3	13	A
	Error	8	0	0		T3	3	11	B
	Total	11	24			T2	3	11	C
T4						3	11	D	

Autor, 2021

En el análisis de varianza de turbidez, el valor de probabilidad (p) es mayor al nivel de significancia 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y rechaza la alternativa, es decir los efectos de las distintas dosis de policloruro de aluminio son iguales en todos los tratamientos. El Test de Tukey se establece que, en efecto, las medias de los diferentes tratamientos no son significativamente diferentes entre sí. Por el contrario, el análisis de varianza para potencial de hidrógeno y color real, reflejó que el valor de probabilidad (p) es menor al nivel de significancia 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y acepta la alternativa, es decir los efectos de las distintas dosis de policloruro de aluminio no son iguales en todos los tratamientos, así mismo, el Test de Tukey demuestra que las medias de los tratamientos son significativamente diferentes entre sí.

4.3 Comparación de los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles de calidad de agua mediante lo establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1.

La Tabla 6 muestra los resultados de los 4 tratamientos aplicados al agua residual y su posterior comparación con los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097 A-Anexo 1.

Tabla 6. Comparación de los resultados con la normativa ambiental aplicable

Tratamientos	Réplicas	Turbidez (NTU)	Potencial de hidrógeno (pH)	Color real	Resultados de caracterización inicial			Acuerdo Ministerial 097-A			Cumplimiento	
					T.	P.	C.	T.	P.	C.	Si cumple	No cumple
					100	6-9	100	100	6-9	100		
T1	R1	4.3	7.52	13.0								
	R2	2.5	7.52	13.0								
	R3	3.5	7.52	13.0								
Promedio	-----	3.4	7.52	13.0	10.8	8.3	13					
T2	R4	4.5	7.80	11.0								
	R5	2.4	7.82	11.0								
	R6	4.4	7.82	11.0								
Promedio	-----	3.8	7.81	11.0								
T3	R7	1.8	8.15	11.0								
	R8	2.8	8.15	11.0								
	R9	2.0	8.14	11.0								
Promedio	-----	2.2	8.14	11.0								
T4	R10	2.0	8.20	9.0								
	R11	3.0	8.19	9.0								
	R12	5.0	8.20	9.0								
Promedio	-----	3.3	8.19	9.0								

Autor, 2021

Se observa que los valores promedio de los parámetros físicos-químicos (turbidez, pH, color) estudiados posteriormente a la aplicación de los tratamientos con polícloruro de aluminio, además de mejorar la calidad del agua al comprobarse la reducción de los parámetros de turbidez (T1 a T4) y color (T2 a T4), cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1, esto significa que el agua tratada con polícloruro de aluminio es óptima

para su utilización en el proceso de recirculación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la empresa procesadora de plásticos.

5. Discusión

De los resultados de la caracterización y determinación de la dosis óptima de policloruro de aluminio a través de la medición de parámetros físicos-químicos (pH, turbidez y color) para determinar su concentración y comparación con los límites máximos permisibles, se encontró que los valores iniciales y finales promedio de los distintos parámetros son inferiores a los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1.

De la determinación de la dosis óptima de policloruro de aluminio mediante el estudio de tratabilidad por Test de Jarras, el tratamiento 3 obtuvo mejor resultado, pues hubo un alto porcentaje de remoción de turbidez (79,62%) en comparación a los demás tratamientos [(68.52%) (64.81%), (69.44%)] respectivamente. Este hallazgo se corrobora en el estudio presentado por Orsi y Mendes (2009) en el cual implementaron un sistema de tratamiento físicos-químicos utilizando policloruro de aluminio para aguas residuales procedentes del reciclaje de plásticos. Los resultados de su sistema demostraron una alta reducción de valores de turbidez, aceites y grasas, con eficiencias superiores al 90%, concluyendo que la calidad de dichas aguas tratadas es ideal para efectuar un proceso de reutilización.

Otro estudio donde se ratifica que el policloruro de aluminio ofrece reducciones importantes de turbidez, esta vez, en relación a otros coagulantes químicos, es propuesto por Ortega y Reyes (2011), en este caso, los resultados determinaron que la menor concentración de policloruro de aluminio experimentada (0,8g/L), redujo la turbidez a 637 FTU comparado con el hidróxido de calcio (CaOH_2) y sulfato de aluminio (Al_2SO_4_3), ya que, para alcanzar una turbidez semejante con los demás coagulantes se necesitaría mayor concentración. Por lo tanto, el uso de

policloruro permite la depuración de las aguas residuales del lavado y su reutilización al proceso.

Concerniente al estudio presentado por Alves *et al.* (2015) cuando evaluaron el proceso de coagulación-floculación utilizando policloruro de aluminio (PAC) para el tratamiento de efluentes procedentes del lavado de plásticos. Los resultados de los análisis físicos-químicos evidenciaron que el proceso de coagulación- floculación con PAC tuvo una eficiencia de remoción de 53% turbidez, este resultado difiere del presente estudio, pues los porcentajes de remoción de turbidez en todos tratamientos superan el 50%.

6. Conclusiones

Los resultados de la medición de los parámetros físicos-químicos iniciales, tales como: pH, turbidez y color cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1.

La dosis óptima de policloruro de aluminio para la clarificación del agua residual pertenece al tratamiento 3 [3% (30 gr) de policloruro de aluminio], pues hubo un alto porcentaje de remoción de turbidez (79,62%) en comparación a los demás tratamientos [(68.52%) (64.81%), (69.44%)] respectivamente. En relación al color real, T2, T3 y T4 alcanzaron un porcentaje de remoción del 15.38%, mientras que, T1 no hubo remoción; el pH se mantuvo en una tendencia hacia el rango alcalino, esto demuestra, a su vez, que la hipótesis de investigación se cumple ya que se redujo la concentración de los parámetros físicos-químicos a evaluar (turbidez, color) en las aguas residuales de la empresa procesadora de plástico mediante la aplicación de policloruro de aluminio.

Los resultados de la medición de los parámetros físicos-químicos (pH, turbidez y color) finales para determinar la dosis óptima de policloruro de aluminio cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1.

7. Recomendaciones

Mejorar los procesos que intervienen en la toma de muestras de agua residual en empresas productoras de plásticos acorde con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013 cuyo objetivo es establecer las técnicas y precauciones generales que se deben tomar para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua incluyendo aquellas para análisis biológicos, pero no análisis microbiológicos.

Analizar el agua residual generada durante la fabricación de los productos a base de plásticos de manera periódica mediante la prueba del Test de Jarras con el fin de mejorar la dosificación de coagulante químico y comparar los resultados obtenidos con el presente estudio.

Mantener el cumplimiento de los parámetros físicos-químicos evaluados acordes a lo establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A.

8. Bibliografía

- Alberton, J., Skoronski, E., Wachholz, A., da Silva, D., Gomes, E., Locks, M. (2016). *Tratamento de efluente do processo de reciclagem de resíduos plásticos*. Tubarão, Brazil: Universidade do Sul de Santa Catarina. Recuperado de <https://eventoscientificos.ifsc.edu.br/index.php/sictsul/sictsu/2016/paper/viewPaper/1730>
- Álvarez, K. (2020). *Validación del método gravimétrico para la determinación de sólidos disueltos (SDT) en aguas naturales y residuales, en el laboratorio de aguas de la universidad de córdoba* (Tesis de pregrado). Recuperado de <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/2967/Pe%C3%B1ates%C3%81lvarezKaren.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alves, J., Trindade, E., Rodrigues, E., Mendes, G., Alves, R., Soares, J., De Sena, R. (2015). *Utilização do Processo de Coagulação para Tratamento de Efluente de Lavagem em Empresa de Reciclagem de Plásticos*. São Paulo, Brazil: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/331533736_Utilizacao_do_Processo_de_Coagulacao_para_Tratamento_de_Efluente_de_Lavagem_em_Empresa_de_Reciclagem_de_Plasticos
- Araujo L., Molina, S. y Noguera., L. (2018). Aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales como materia prima en la industria de la construcción: Revisión bibliográfica. *Revista Agunkuyâa*, 8(1), 21-28. doi:<https://doi.org/10.33132/27114260.1231>
- Bedoya, D. y Giraldo, M. (2012). *Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo b en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de Villa Santana*.

- Recuperado de <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/62/81622H565.pdf>
- Carpio, M. (2007). *Turbiedad por nefelometría (Método B)*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2004). Capítulo 4: Coagulación. En Barrenechea A. (Ed.), *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida* (151-220). Lima, Perú: CEPIS/OPS.
- Chulluncuy, N. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. 2011(29). 153-170. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428495008.pdf>
- Cisneros, J. (2013). *Análisis socio-económico de la calidad del aire y del agua en Quito, 2010-2012* (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6108>
- Diamadopoulos, E., Anastasakis K. y Kalderis, D. (2009). Flocculation behavior of mallow and okra mucilage in treating wastewater. *Desalination* 249(2), 786-791. DOI:10.1016/j.desal.2008.09.013
- Díaz C., Nahum J. (2014). *Coagulantes-floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra para el tratamiento de aguas contaminadas* (Tesis de maestría). Recuperado de <http://www.cervantesvirtual.com/obra/coagulantes-floculantes-organicos-e->

inorganicos-elaborados-de-plantas-y-del-reciclaje-de-la-chatarra-para-el-tratamiento-de-aguas-contaminadas/

Díaz, M., Rivas, L., Fernández, D., Salazar, D., Miller, S., y la Maza, L. (2017). Selección de programa químico de tratamiento para agua residual oleosa. *Centro Azúcar*, 44(2), 89-100.

Espinosa, K. y Sánchez, J. (2020). *Estudios sobre las causas de la contaminación hídrica en el municipio de Girón* (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/4397>

Flores, J. (2011). Water clarification using polymerized coagulants: aluminum hydroxychloride case. *DYNA*, 78(165),18-27. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532011000100002

Fundación Aquae. (2017). *Aguas residuales y agricultura*. Madrid, España: Portal web Fundación Aquae. Recuperado de <https://www.fundacionaquae.org/dia-mundial-del-agua-2017-aguas-residuales-agricultura/>

García, B. (2007). *Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial: Aplicación en países en vías de desarrollo* (Tesis de maestría). Recuperado de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12458/Tesi%20de%20Master_BEATRIZ%20%20GARCIA%20FAYO%20S.pdf?sequence=1

García, G., Gortárez, M., y Drogui, P. (2015). Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción. *Química Viva*, 10(2), 96-105.

Guzmán, L., Villabona, A., Tejada, C., García, R. (2013). Reducción de turbiedad del agua usando coagulantes naturales. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253-262.

- Hidrotec. (2016). *Tipos de aguas residuales: por qué es importante conocerlas*. Barcelona, España: Hidrotec Sanejament, S.L. Recuperado de <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>
- Jiménez, B. (2001). *La contaminación ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=8MVxlyJGoklC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Jirgenson, B. (1992). *Ashort of colloid chemistry*. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-05285-1>
- León, A. y Barajas, L. (2015). *Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio* (Tesis de pregrado). Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Marticorena, C. y Zevallos, L. (2017). *Influencia del tipo y la concentración de coagulante en la remoción de plomo en una solución acuosa* (Tesis de pregrado). Recuperado de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCP_192fbca451012fe98430b3c2746f7d36/Description#tabnav
- Ojeda, L. (2012). *Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del tropaeolum tuberosum, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasí de la EPMAPS* (Tesis de pregrado). <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3866>
- Organización de las Naciones Unidas. (2019). *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO*. Paris-Francia: UNESCO. Recuperado de <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>

- Orsi, A., y Mendes, C. (2009). Reúso de água em indústria de reciclagem de plástico tipo PEAD. *Eng Sanit Ambient*, 14(2), 235-244. doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000200011>
- Ortega, S. y Reyes, T. (2011). *Modernización de la Planta de Reciclaje de Polietilen Tereftalato de la Empresa Polisuin S.A. Acoplado un Sistema de Tratamiento de Efluentes* (Tesis de pregrado). Recuperado de https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/127/Trabajo_de_Grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Restrepo, H. (2009). *Evaluación de proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable* (Tesis de pregrado). Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2561>
- Servyeco. (2018). *Coagulantes Sintéticos*. Castellón, España: Poral web Servyeco. Recuperado de <https://www.servyeco.com/coagulantes-sinteticos.html>
- Straioto, H. (2019). *Tratamento de efluente de indústria de reciclagem de plástico por processo físico-químico em escala de bancada com coagulantes orgânicos e inorgânicos*. (Tesis de maestría) Recuperado de http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4616/1/LD_PPGEA_M_Straio%2c_Henrique_2019.pdf
- Ujacov, C., Franciéli, F., Bettiol, R., Bordin, A. (2012). *Reciclagem de plástico e tratamento de efluentes: uma possibilidade para o reuso da água*. Goiânia, Brazil: IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Recuperado de <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/II-008.pdf>
- Villabona, A., Guzman, L., y Tejada, C. (2013). Reduction of water turbidity using coagulants. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253-262.

- Villena, J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 304-308.
doi:<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>
- Zhang, H., Luo, D. (2004). Application of an expert system using neural network to control the coagulant dosing in water treatment plant. *J. Control Theory Appl*, 2(1), 89-92. <https://doi.org/10.1007/s11768-004-0030-x>

9. Anexos

ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE:
NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA

TABLA 1: CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Bario	Ba	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro	CN ⁻	mg/l	0,1
Cobre	Cu	mg/l	2
Color	Color real	Unidades de Platino-Cobalto	75
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Fluoruro	F ⁻	mg/l	1,5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	<4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	<2
Hierro total	Fe	mg/l	1,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Nitratos	NO ₃	mg/l	50,0
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2
Potencial Hidrógeno	pH	unidades de pH	6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	500
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,2
Turbiedad	unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100,0

Nota: Podrán usarse aguas con turbiedades y coliformes fecales ocasionales superiores a los indicados en esta Tabla, siempre y cuando las características de las aguas tratadas sean entregadas de acuerdo con la Norma INEN correspondiente.

Figura 1. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.
Acuerdo Ministerial 097-A Anexo 1, 2015

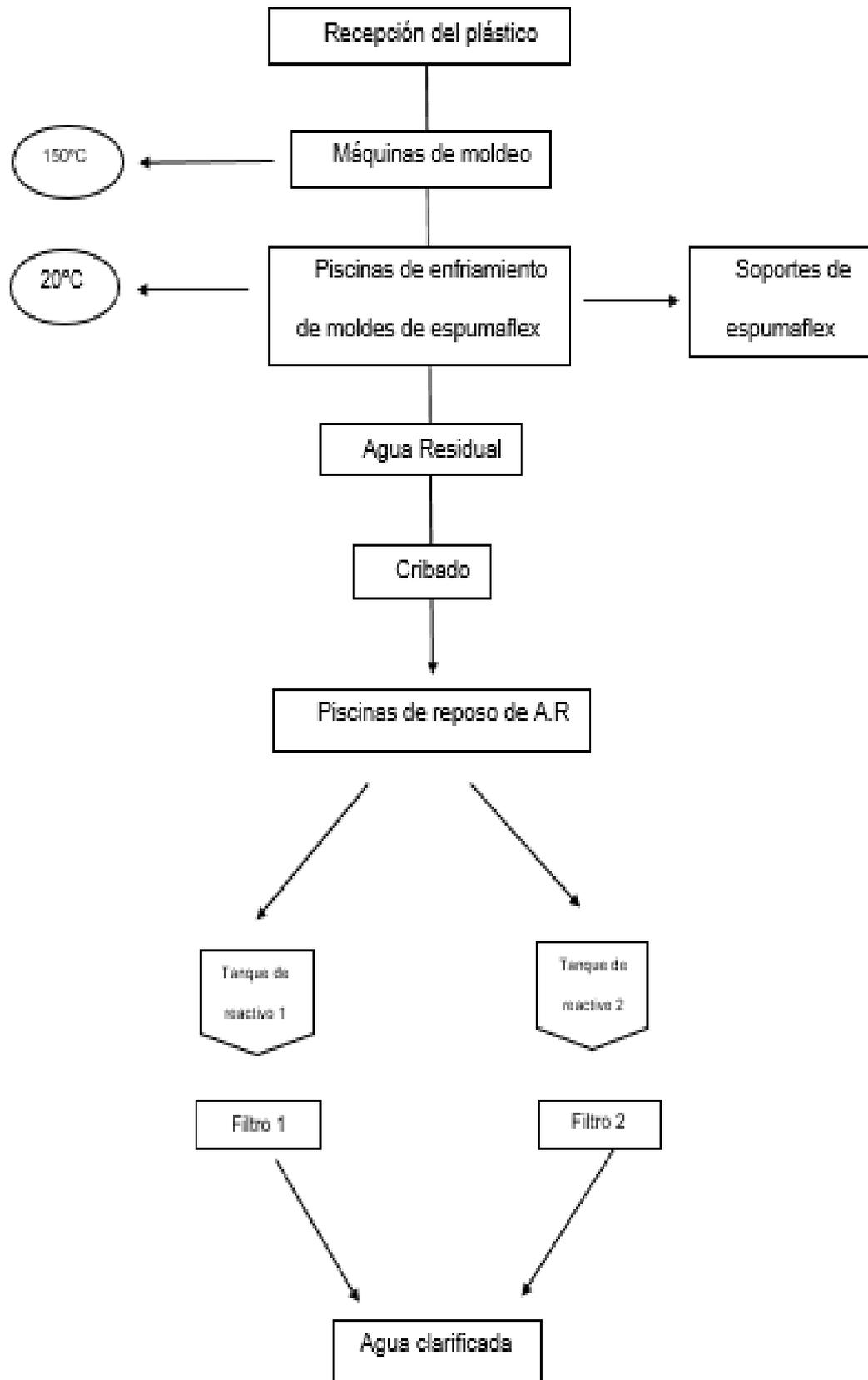


Figura 2. Diagrama de flujo de la PTAR
 Tamayo, 2021

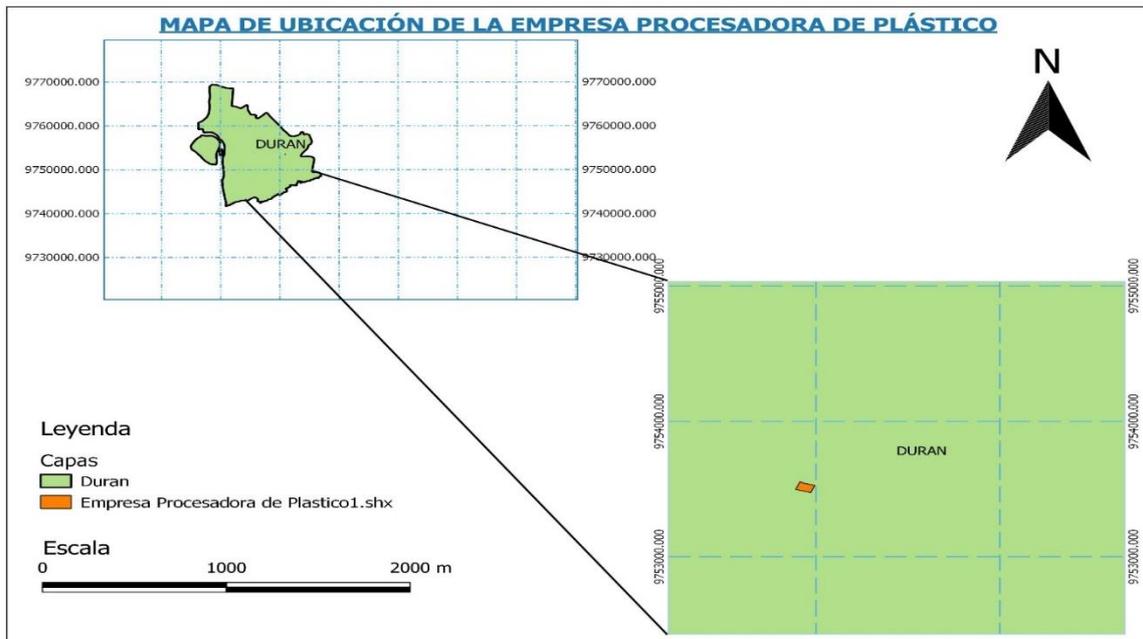


Figura 3. Ubicación de la empresa procesadora de plásticos.
QGIS, 2021



Figura 4. Área de producción
Tamayo, 2021



Figura 5. Salida del agua de enfriamiento, conducida a la piscina de almacenamiento de aguas residuales.
Tamayo, 2021



Figura 6. Piscina de almacenamiento de aguas residuales del procesamiento de plásticos.
Tamayo, 2021



Figura 7. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
Tamayo, 2021



Figura 8. Procesamiento de la prueba de jarras
Tamayo, 2021



Figura 9. Aplicación del reactivo utilizado para el tratamiento de aguas residuales.
Tamayo, 2021



Figura 10. Medición del policloruro de aluminio
Tamayo, 2021



Figura 11. Toma de potencial de hidrógeno en los tratamientos de aguas residuales. Tamayo, 2021



Figura 12. Resultados de los análisis de turbidez en los tratamientos Tamayo, 2021