

**DISEÑO A ESCALA LABORATORIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES CONTAMINADAS CON RESIDUOS POLIMÉRICOS**

LADY TATIANA JIMÉNEZ MARIÑO

JORGE MILTON MELO RUIZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2015

**DISEÑO A ESCALA LABORATORIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES CONTAMINADAS CON RESIDUOS POLIMÉRICOS**

LADY TATIANA JIMÉNEZ MARIÑO

JORGE MILTON MELO RUIZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:

Ingeniero Químico

Director:

ADRIANA ISABEL ARENAS ARENAS

Química. Especialista en Química Ambiental

Co-director:

HERNÁN CAMILO CALDERÓN SARMIENTO

Ingeniero Químico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

A Dios padre, por darme tantas bendiciones a lo largo de mi camino, por darme fuerza y
paciencia para lograr mis propósitos.

A mis padres Edgar y María Inés, por su apoyo constante, por ser un ejemplo a seguir, por
su dedicación y constancia.

A mis hermanos; Nancy, Yamile Giovanni, Miguel Ángel por su cariño y apoyo.

A cada uno de esos ángeles que tengo en el cielo, Mamina a ti por enseñarme que los
sacrificios tienen su recompensa, por esas palabras de apoyo constante.

A ti Elkin; por estar siempre conmigo amor, por tu apoyo incondicional, por tus palabras,
por entenderme en cada una de las decisiones que tomaba.

A todos mis amigos, que estuvieron conmigo durante esta etapa del camino, por su apoyo
incondicional, por todos esos buenos momentos que dejaron tan gratos recuerdos.

Lady Tatiana Jiménez Mariño

DEDICATORIA

A mi madre Blanca, por su amor incondicional, sus enseñanzas, sus innumerables consejos, su infinita paciencia y porque siempre está a mi lado para brindarme su apoyo cada vez que lo necesito sin importar las circunstancias.

A mi padre Milton, por sus enseñanzas y su apoyo constante. Además, porque gracias a su esfuerzo y dedicación siempre me ha brindado todo lo necesario para poder salir adelante.

A mi hermana Paola, por su cariño constante y toda la ayuda que me ha brindado a lo largo de mi vida. También por sus valiosos consejos para poder alcanzar esta meta.

A mis amigos y familiares que de una u otra forma dedicaron parte de su tiempo para apoyarme y darme aliento a lo largo de esta etapa. También para los que desafortunadamente ya no se encuentran con nosotros, pero que vivirán por siempre en nuestros corazones.

A todos mis amigos que conocí en el transcurso de la carrera, por todos los buenos momentos que pasamos, las experiencias vividas; pero especialmente, por compartir sus conocimientos y su tiempo conmigo.

Jorge Milton Melo Ruiz

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos al Doctor Gustavo Ramírez por brindarnos la oportunidad de trabajar en el laboratorio del GIP.

A todas las personas que trabajan en el laboratorio del Grupo de Investigación de Polímeros, por su colaboración y su tiempo.

A la Ingeniera Adriana Arenas, por su apoyo y sus consejos.

A Yaneth Quintero, encargada de la dirección del Laboratorio del CEIAM, por su valiosa colaboración en el desarrollo de los análisis.

A la Química Natalia Bedoya, por su tiempo, sus conocimientos, y su valiosa experiencia.

Al ingeniero Camilo Calderón por su ayuda y colaboración a lo largo del proyecto.

A los técnicos de laboratorio; Guillermo Acero, Eduardo Carreño, y Wilson Carreño, por su colaboración en el transcurso de la realización de las pruebas.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. MARCO TEÓRICO	19
1.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA	19
1.1.1 Residuos obtenidos de síntesis y caracterización de Poliuretano.....	20
1.1.2 Residuos obtenidos de síntesis y caracterización de Poliglicerol.	20
1.1.3 Impacto ambientall.....	20
1.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	21
1.2.1 Filtración.	22
1.2.2 Flotación.	22
1.2.3 Coagulación	22
1.2.4 Floculación.....	23
1.2.5 Agentes coagulantes	23
1.2.6 Prueba experimental para el desarrollo del proceso de coagulación- floculación.....	24
1.2.7 Sedimentación.	25
2.DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	26
2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	26

2.2 DIAGNÓSTICO Y SENSIBILIZACIÓN.....	26
2.3 RECOLECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES.....	27
2.4 PRUEBAS PRELIMINARES	28
2.5 CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA MEZCLA DE RESIDUOS	30
2.6 ENSAYOS DESPUÉS DE LA CARACTERIZACIÓN	31
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	33
3.1 SELECCIÓN DE COAGULANTE.....	33
3.2 CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA FINAL	37
3.3 PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	38
3.3.1 Unidades de operación.	38
3.3.2 Trampa de grasa.....	39
3.3.3 Unidad de floculación-sedimentación.	39
3.3.4 Unidad de filtración.	40
3.3.5 Costos de reactivos para realizar el proceso.	41
4. CONCLUSIONES	42
5. RECOMENDACIONES.....	43
CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS	52

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Metodología global.....	26
Figura 2. Variación de la turbiedad en función de la cantidad de coagulante.	35
Figura 3. Variación del pH en función de la cantidad de coagulante.....	36
Figura 4. Diagrama diseño básico tratamiento de aguas residuales.....	38

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Rangos de efectividad de coagulante.....	24
Tabla 2. Volumen agua acumulada.....	27
Tabla 3. Datos de pH y turbiedad antes del tratamiento.....	28
Tabla 4. Distribución de experimentos	29
Tabla 5. Soluciones de coagulante [6], [14].....	29
Tabla 6. Caracterización fisicoquímica agua residual.....	31
Tabla 7. Datos de pH y turbiedad antes de cada ensayo	32
Tabla 8. Resultados prueba de jarras sulfato de aluminio.....	33
Tabla 9. Resultados prueba de jarras cloruro férrico.....	34
Tabla 10. Resultados prueba de jarras policloruro de aluminio.....	34
Tabla 11. Variables de salida por coagulante.....	36

Tabla 12. Resultados ensayos con dos litros de agua residual.....	37
Tabla 13. Dimensiones trampa de grasa.....	39
Tabla 14. Dimensiones unidad floculación-sedimentación.....	40
Tabla 15. Dimensiones unidad de filtración.....	40
Tabla 16. Costo de reactivos.....	41

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Ficha de diagnóstico.....	52
Anexo B. Ficha seguimiento	53
Anexo C. Pruebas aguas residuales Poliuretano.....	54
Anexo D. Pruebas aguas residuales Poliglicerol.....	57
Anexo E. Registro fotográfico.....	60
Anexo F. Equipo de jarras.....	62
Anexo G. Uso turbidímetro.....	64
Anexo H. Protocolo manejo de residuos y tratamiento de aguas residuales	67

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO A ESCALA LABORATORIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CONTAMINADAS CON RESIDUOS POLIMÉRICOSⁱ

AUTORES: Lady Tatiana Jiménez Mariño, Jorge Milton Melo Ruízⁱⁱ

PALABRAS CLAVES: Aguas residuales, polímeros, coagulante, Sulfato de Aluminio, Cloruro Férrico, Policloruro de Aluminio.

DESCRIPCIÓN: Las aguas residuales generadas durante la etapa de producción y caracterización de materiales, en el laboratorio del Grupo de Investigación de Polímeros (GIP) de la Universidad Industrial de Santander, generan frecuentemente daños en la tubería de desagüe. Por tal razón fueron evaluadas mediante análisis fisicoquímicos tales como: pH, turbiedad, sólidos suspendidos totales (SST), grasas y aceites, y polímero disuelto. Los valores obtenidos se encuentran fuera de los rangos establecidos por la norma ambiental para el vertimiento de aguas residuales industriales al alcantarillado (resolución 0631 del 17 de Marzo de 2015).

Como alternativa para el tratamiento de aguas residuales se usó la coagulación-floculación, probando tres coagulantes diferentes: Sulfato de Aluminio, Cloruro Férrico y Policloruro de Aluminio; siendo este último el único que consiguió mantener los valores de turbiedad y pH dentro de los límites establecidos, por lo tanto, presentó los mejores resultados y fue el coagulante seleccionado. Posteriormente, con base en las características del agua residual generada, se plantea el diseño de un sistema de tratamiento a escala laboratorio y se establecen las unidades de proceso necesarias para el mismo. Para comprobar la eficiencia del proceso se realizan pruebas con un volumen de 2 litros. Por último, se realizan los mismos análisis fisicoquímicos al agua tratada para garantizar que se cumple con los límites establecidos por la normatividad ambiental vigente, y al mismo tiempo, verificar la eficiencia del sistema propuesto.

ⁱ Proyecto de grado.

ⁱⁱ Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Ing. Adriana Isabel Arenas Arenas

ABSTRACT

TITLE: LABORATORY SCALE DESIGN OF A TREATMENT SYSTEM FOR WASTEWATER CONTAMINATE WITH POLYMER RESIDUES

‡

AUTHORS: Lady Tatiana Jiménez Mariño, Jorge Milton Melo Ruiz[§].

KEYWORDS: Wastewater, polymers, coagulant, Aluminum Sulfate, Ferric Chloride, Polychloride of Aluminum.

DESCRIPTION: The wastewater generated during the production stage and characterization of materials in the laboratory of Grupo de Investigación en Polímeros (GIP) of the Universidad Industrial de Santander (UIS), commonly cause damage to the drain pipe. For this reason, it was evaluated by physical-chemical analysis such as: pH, turbidity, total suspended solids (TSS), fats and oils, and dissolved polymer. These values are outside the ranges established by the environmental standard for wastewater (resolution 0631 of March 17, 2015).

As an alternative for treating wastewater coagulation-flocculation was used, testing three different coagulants: Ferric Chloride, Aluminum Sulfate and Polychloride of Aluminum; the latter being the only one who managed to keep the turbidity and pH values within established limits, therefore, it presented the best results and it was the selected coagulant. Subsequently, based on the characteristics of the wastewater generated, the design of a treatment system on laboratory scale and its respective process units are set. In order to check the efficiency of the process tests were conducted with a volume of 2 liters. Finally, the same physicochemical analyzes are performed to the treated water to ensure compliance with the established limits by current environmental regulations, and at the same time, check the efficiency of the proposed system.

^{‡‡} Degree work.

[§] Physical-Chemical Engineering Faculty. Chemical Engineering School. Director: Ing. Adriana Isabel Arenas Arenas

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental, especialmente de los recursos hídricos, es uno de los problemas ambientales con mayor impacto en la actualidad, solo el 14% de los efluentes en América latina tienen tratamiento previo a su disposición final [1]. El crecimiento de la población y la industrialización conlleva a una sobresaturación de las sustancias tóxicas que el agua normalmente puede neutralizar [2], Uno de los grandes contaminantes del agua lo constituyen los polímeros [3].

El uso de materiales poliméricos en diferentes aspectos como la producción de plásticos y espumas (poliuretano, polietileno, poliestireno) [4], y la investigación sobre nuevas aplicaciones, como en el campo de la medicina [5], generan una incógnita sobre la disposición de sus residuos. El agua residual proveniente de los procesos de obtención de polímeros contiene componentes nocivos para el recurso hídrico tales como ácidos, estabilizadores e iniciadores [4]. El uso de métodos sencillos, eficientes y de fácil aplicación son necesarios en el tratamiento y la disposición de este tipo de desechos.

Se han realizado estudios previos para el tratamiento de aguas contaminadas con desechos poliméricos usando resinas de intercambio iónico, procesos electroquímicos y coagulación-floculación [3,6]; siendo esta última técnica, la más utilizada debido a su bajo costo y alta eficiencia [6]. Eso resuelve la inquietud acerca de como tratar las aguas residuales producidas en el laboratorio de polímeros para que puedan ser vertidas al alcantarillado y cumplan con lo establecido en la resolución 0631 del 17 marzo de 2015. Además, teniendo en cuenta las características de dichas aguas, se propone el diseño de un sistema de tratamiento en el laboratorio.

Los residuos sólidos producidos en el laboratorio de polímeros tienen protocolos establecidos para su manejo posterior, mientras que residuos líquidos no. Las aguas residuales producidas a partir del lavado del material usado en la caracterización de polímeros; como Poliglicerol y Poliuretano, generan problemas como obstrucción de las tuberías de desagüe y contaminación de las aguas de desecho de la sede UIS Guatiguará. Por lo tanto, no pueden ser vertidas directamente al alcantarillado y deben ser almacenadas para su posterior tratamiento.

Para el tratamiento de los residuos líquidos se evaluaron tres coagulantes diferentes: Sulfato de Aluminio, Cloruro Férrico y Policloruro de Aluminio. Realizando varias pruebas de jarras, donde se obtuvo según los resultados el coagulante más efectivo y su dosis óptima; posteriormente se llevaron a cabo pruebas con un volumen de agua mayor para corroborar el desempeño del químico, se realizaron análisis fisicoquímicos para conocer la efectividad del proceso aplicado y verificar una reducción en los parámetros establecidos por la normatividad ambiental (resolución 0631 de 17 de marzo de 2015).

El desarrollo de este trabajo consta de una introducción donde se explica brevemente los tipos de residuos generados en el laboratorio de polímeros y el proceso de tratamiento de las aguas residuales; se presentan las etapas desarrolladas en el método experimental, desde el diagnóstico inicial, pasando por las pruebas con los coagulantes hasta la prueba aumentando el volumen de agua residual, para definir las unidades de operación del diseño propuesto. Posteriormente se presenta un capítulo de análisis de resultados, la propuesta de diseño del sistema de tratamiento, y por último las conclusiones y recomendaciones.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Durante mucho tiempo el hombre ha utilizado el agua para todas las actividades que realiza, debido a su abundancia, es ideal como disolvente universal para limpiar y arrastrar todo tipo de residuos [7]. El agua contiene sustancias químicas, físicas y biológicas disueltas o suspendidas en ella. En forma de lluvia, disuelve los componentes químicos de sus alrededores a medida que cae a través de la atmósfera, corre sobre la superficie del suelo y se filtra a través del mismo. Además, el agua contiene organismos vivos que reaccionan con sus componentes físicos y químicos; por lo cual suele ser necesario tratarla con el fin de hacerla adecuada para sus diferentes usos [7].

Los contaminantes del agua pueden ser químicos, físicos y biológicos. Los contaminantes químicos pueden ser orgánicos o inorgánicos, los cuales provocan una disminución del oxígeno disuelto y posibles efectos tóxicos, afectando gravemente los ecosistemas acuáticos [7,8]. Como contaminantes físicos se tienen; sólidos disueltos, insolubles, sedimentables o suspendidos que afectan propiedades físicas como el color, la turbiedad, la temperatura, la conductividad y el pH. Dichos sólidos frecuentemente destruyen los lugares de alimentación y reproducción de peces y obstruyen lagos, represas, ríos y bahías [8]. Por último, los contaminantes biológicos son los responsables de la transmisión de enfermedades en las aguas de abastecimiento. Algunas enfermedades que se transmiten por contaminación biológica son el cólera, las tifoideas y las paratifoideas [8].

1.1.1 Residuos obtenidos de síntesis y caracterización de Poliuretano. Los residuos obtenidos a partir de la síntesis y caracterización de poliuretano presentan restos de reactivos usados en su obtención tales como los polioles, en este caso el aceite de ricino, diisocianatos (MDI), y glicerol los cuales son considerados tóxicos [9, 10]. El pH de este residuo es básico. Su problema radica en el desecho de restos de poliuretano solidificado con el agua de lavado, y la contaminación con grasas provenientes del glicerol.

1.1.2 Residuos obtenidos de síntesis y caracterización de Poliglicerol. El agua residual obtenida a partir de la síntesis y caracterización de poliglicerol se caracteriza por tener un pH mucho menor a 7, esto debido a que en la síntesis de este tipo de polímero son usados ácidos como catalizadores [11]. Su color característico es café oscuro, debido a la presencia de restos de Poliglicerol en el agua de lavado de material. Otro de los problemas que presenta este residuo es el alto contenido de grasas, lo cual es un inconveniente al momento de realizar un tratamiento. La presencia de estos compuestos en el agua evita una correcta acción de limpieza en las etapas posteriores de tratamiento.

1.1.3 Impacto ambiental. El pH es un parámetro de gran importancia para aguas residuales y su valor está regulado por límites máximos permisibles en descargas al alcantarillado. Si el agua residual tiene un valor de pH inadecuado, su calidad se ve afectada para usos agrícolas, el desarrollo de ecosistemas acuáticos y para el consumo humano [7]. Cuando la turbiedad es muy alta, quiere decir que hay presentes una gran cantidad de sólidos sedimentables y sólidos insolubles en suspensión; los cuales son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la

formación de depósitos en las conducciones de agua y equipos de proceso [8], por lo tanto, dichas aguas no pueden ser utilizadas en forma directa por las industrias y plantas potabilizadoras. En cuanto a las grasas y aceites, estas tienden a reducir la cantidad de oxígeno disuelto en el agua y en algunos casos pueden ser sustancias tóxicas para el ser humano [8].

Existe la necesidad de hacer un tratamiento adecuado a los residuos líquidos generados en el laboratorio de polímeros, con el fin de que los vertimientos se encuentren dentro de la normatividad ambiental; por lo tanto, el generador debe buscar una solución a los problemas causados por dichos residuos. El mejoramiento de la calidad del agua desechada debe ser responsabilidad de quien la produce, esto con el fin de poder disminuir el impacto ambiental causado por el vertimiento de estos residuos en el sistema de alcantarillado público, y así evitar la formación de otros componentes tóxicos para el medio ambiente al mezclarse con otro tipo de residuos líquidos transportados por el agua.

1.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales contienen material suspendido. Sólidos que pueden sedimentar en reposo, o cuerpos disueltos que no sedimentan con facilidad. Un ejemplo de estas partículas que no sedimentan son los coloides [12]. Las partículas que forman la turbiedad y el color del agua poseen cargas eléctricas que, normalmente son negativas y, determinan una fuerza de repulsión entre ellas, manteniéndolas suspendidas en el agua. Entre mayor sea la magnitud de las fuerzas de repulsión, más estable será el sistema coloidal y más difícil será obtener la aglomeración de las partículas para que puedan sedimentar [13]. Algunos ejemplos de especies coloidales halladas en aguas residuales incluyen

arcillas, sílice, hierro, metales pesados o sólidos orgánicos como los polímeros [12]. Las operaciones de coagulación y floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación. Esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado [14].

1.2.1 Filtración. Es la operación física para remover los sólidos suspendidos de gran tamaño al inicio del proceso y evitar que interfieran en las etapas posteriores [15]. También se usa al final del mismo para separar las partículas con una densidad muy cercana a la del agua y que no fueron removidas anteriormente, esto con el fin de disminuir al máximo el valor de la turbiedad [16].

1.2.2 Flotación. Cuando la densidad de las partículas o aglomerados a separar es cercana o menor a la del vertimiento, estos tienden a ascender hacia la superficie del líquido. El agua a tratar es llevada a un tanque con varios compartimentos, los cuales ayudan a que dichas sustancias se acumulen y puedan ser retiradas fácilmente [17].

1.2.3 Coagulación. Es el proceso de formación de pequeñas partículas gelatinosas mediante la adición de un coagulante al agua y la aplicación de energía de mezclado. La unión de estas variables desestabiliza las partículas suspendidas por neutralización de las cargas de coloides cargados negativamente. Este proceso comienza en el mismo instante en que se agrega el coagulante y dura solo fracciones de segundo [14]. La coagulación es el tratamiento más eficaz para la eliminación de impurezas en el agua y también puede representar un gasto elevado cuando no se realiza adecuadamente [14]. La dosis de coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de

sedimentación y es imposible realizar una buena clarificación si la cantidad de coagulante no es la adecuada [16].

1.2.4 Floculación. Es el proceso mediante el cual las partículas desestabilizadas o coaguladas se juntan para formar un aglomerado más grande llamado flóculo [14]. La floculación se consigue recurriendo a una mezcla moderada y prolongada que transforma las partículas coaguladas de tamaño submicroscópico en otras suspendidas y visibles [14]. El movimiento de las partículas depende de factores como la temperatura del agua, la concentración de las partículas, la presencia de cargas eléctricas, entre otras [12]. Un mezclado demasiado intenso rompe los flóculos y rara vez se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos [16].

1.2.5 Agentes coagulantes. En el tratamiento de aguas, los coagulantes más comunes son compuestos inorgánicos de aluminio o hierro [12]. Estos son sales ácidas que disminuyen el pH del agua a tratar, por lo que es necesario añadir cal o soda cáustica, generando mayores costos en el tratamiento [13]. Además, tienen el inconveniente de ser muy sensibles a un cambio de pH. El pH afecta la solubilidad de los precipitados formados por el hierro y el aluminio, así como el tiempo requerido para la formación de flóculos y la carga sobre las partículas coloidales [14]. Los más utilizados son el sulfato de aluminio y el cloruro férrico.

Los flóculos obtenidos con el Sulfato de Aluminio son pequeñas estructuras porosas y esponjosas [14]. Mientras que el Cloruro Férrico, produce estructuras grandes y densas que decantan rápidamente [18].

En las últimas décadas se han desarrollado coagulantes inorgánicos poliméricos que presentan un mejor comportamiento ante los coagulantes convencionales. Se consideran más eficientes debido a su baja dependencia de la temperatura y del

pH. Además, se desempeñan mejor en aguas con turbiedades altas y requieren de una menor dosificación [13]. El más utilizado es el Policloruro de Aluminio (PAC), los flóculos formados por este coagulante son pequeñas esferas o cadenas compactas con mayor velocidad de sedimentación [16]. En la tabla 1 se pueden ver los rangos de pH en los cuales son efectivos los tres tipos de coagulantes.

Tabla 1. Rangos de efectividad de coagulante

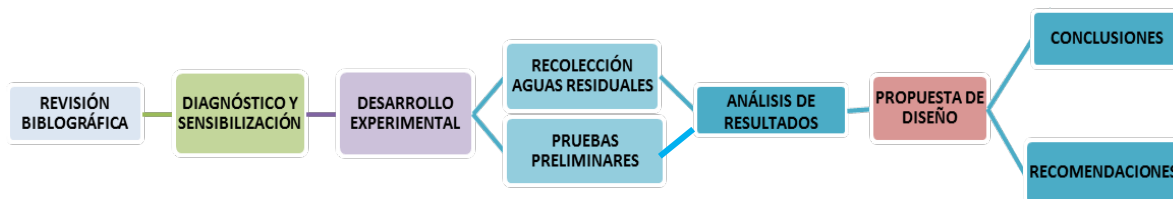
COAGULANTE	RANGO pH
Sulfato de aluminio	4 – 7
Cloruro Férrico	3.5 – 6.5 y mayores de 8.5
Policloruro de aluminio.	5 – 9

1.2.6 Prueba experimental para el desarrollo del proceso de coagulación-floculación. La prueba de jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para potabilización de agua o el tratamiento de aguas residuales. Este método permite realizar ajustes en el pH, y variaciones en la dosis de coagulante, alternando velocidades de mezclado. También permite la prueba de varios tipos de coagulantes a pequeña escala, con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a mayor escala de tratamiento. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor [19].

1.2.7 Sedimentación. Es la separación de los flóculos del agua, los cuales se decantan en el fondo de un tanque por acción de la fuerza de gravedad, dando como resultado un fluido más claro [13]. Mediante este proceso se eliminan los sólidos en suspensión (coloides agrupados mediante las etapas de coagulación y floculación) más pesados que el agua [16].

2. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Figura 1. Metodología global



2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se realizó una revisión bibliográfica en artículos científicos, tesis de grado, y diferentes publicaciones para investigar cuales son los tratamientos más aplicados en las aguas residuales. Se hizo una consulta de la normatividad ambiental para conocer los parámetros más relevantes que deben cumplir estas aguas para poder ser arrojadas al sistema de alcantarillado público.

2.2 DIAGNÓSTICO Y SENSIBILIZACIÓN

La realización del diagnóstico se llevó a cabo para determinar las acciones que se deben tomar para mejorar el manejo de los residuos líquidos. Se realizó una sensibilización con las personas que trabajaban en el laboratorio del Grupo de Polímeros de la Universidad Industrial de Santander, sobre cómo realizar el lavado

del material de laboratorio, y hacer una disposición adecuada de los residuos líquidos generados durante esta etapa.

Con los diferentes grupos de trabajo se empleó una ficha de diagnóstico, que proporcionaba información acerca de la práctica realizada, los reactivos usados y la forma en que ejecutaban el lavado de material (Ver Anexo A).

2.3 RECOLECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Posterior a la etapa de diagnóstico y sensibilización de manejo de residuos, se implementó una metodología para realizar el control de los residuos líquidos generados, se recogieron las aguas residuales generadas durante los procesos de síntesis y caracterización de polímeros (Poliuretano y Poliglicerol). Estos desechos se almacenaron en envases respectivamente marcados. Con el fin de obtener un dato acerca del promedio de agua residual que se estaba generando, se implementó una metodología para realizar el control de residuos generados (Ver Anexo B). La información era proporcionada por las personas que trabajaban en el laboratorio. El promedio de agua acumulada en una semana se ve en la tabla 2.

Tabla 2. Volumen agua acumulada

TIPO DE AGUA RESIDUAL	VOLUMEN (l)
Poliuretano	8
Poliglicerol	8
TOTAL	16

2.4 PRUEBAS PRELIMINARES

Antes de realizar la prueba de jarras con cada uno de los coagulantes (Sulfato de Aluminio, Cloruro Férrico y Policloruro de Aluminio) se midió el pH, para conocer si este se encuentra en los rangos efectivos de aplicación (ver tabla 1), o realizar el respectivo ajuste del pH con solución de NaOH 1M.

Se evaluó la turbiedad del agua sin realizar el tratamiento, para luego comparar con los datos obtenidos después del proceso de aplicación del coagulante y conocer si se produjo una reducción en este valor. Los datos obtenidos se presentan en la tabla 3. Estos datos son un promedio de las 9 mediciones realizadas antes de cada prueba de jarras.

Tabla 3. Datos de pH y turbiedad antes del tratamiento

TIPO DE AGUA RESIDUAL	PH	TURBIEDAD (NTU) VALORES PROMEDIO
Poliglicerol	1.50	640
Poliuretano	9.75	215
Mezcla residuos	4.51	503

La prueba de jarras (ver anexo G) se desarrolló en el equipo del laboratorio de la Especialización en Química Ambiental, ubicado en las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Química. Se usaron 4 jarras cada una con 1 litro de agua residual, la primera jarra se tomó como patrón (agua sin coagulante), Las tres jarras restantes se usaron para la dosificación del coagulante.

Para cada tipo de residuo; Poliuretano, Poliglicerol y mezcla de residuos, se realizó una prueba y dos respectivas replicas. Variando el coagulante; Sulfato de

Aluminio, Cloruro Férrico y Policloruro de Aluminio, obteniendo un total de 27 pruebas realizadas. En la tabla 4 se muestra la distribución de los experimentos.

Tabla 4. Distribución de experimentos

COAGULANTE	TIPO DE RESIDUO			
	NÚMERO DE EXPERIMENTOS	POLIURETANO	POLIGLICEROL	MEZCLA
Sulfato de Aluminio		3	3	3
Cloruro Férrico		3	3	3
Policloruro de Aluminio		3	3	3

Los coagulantes usados fueron los siguientes: Sulfato de Aluminio, Cloruro Férrico y Policloruro de Aluminio. Las soluciones de coagulante se prepararon como se muestra en la Tabla 5. [6] - [14].

Tabla 5. Soluciones de coagulante [6], [14]

COAGULANTE	SOLUCIÓN
Sulfato de Aluminio	10 gramos/litro
Cloruro Férrico	10 gramos/litro
PAC	15 gramos/litro

Una vez agregado el coagulante a cada una de las jarras, se graduó la velocidad en 100 rpm durante un 1 minuto, para favorecer la dispersión del químico; posteriormente se redujo a 80 rpm durante 10 minutos, en este lapso se da la formación de flóculos de tamaño pequeño. Por último, la velocidad se disminuyó a 8 rpm, y se mezcló durante 10 minutos más para favorecer la formación de flóculos de mayor tamaño [6].

Transcurrido el proceso de floculación se llevó a cabo la etapa de sedimentación, se detuvieron las paletas de agitación de las jarras y se dejaron reposar las muestras por un tiempo de 15 minutos. Después de finalizada la etapa de sedimentación, se tomaron las respectivas muestras de cada jarra. Se realizó la medición de pH y turbiedad, para llevar a cabo la comparación con los datos obtenidos antes de empezar el proceso de coagulación-floculación y poder seleccionar el coagulante más adecuado para el proceso de tratamiento.

Después de realizadas las pruebas con los diferentes tipos de aguas residuales recolectadas (poliuretano, poliglicerol y mezcla de residuos) Se seleccionó la mezcla de residuos; debido a que esta presenta un pH promedio de 4.5 con el cual la cantidad de solución de NaOH para neutralización va a ser menor, evitando que el agua tome un color blanco por la presencia del Hidróxido de Sodio y el coagulante, lo que hace que la turbiedad del agua aumente.

2.5 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA MEZCLA DE RESIDUOS

Se realizó una caracterización fisicoquímica del agua residual a tratar, para conocer su estado. En la tabla 6 se ven los resultados obtenidos. Se puede observar que los parámetros a evaluar se encuentran excediendo los límites máximos permisibles por la norma ambiental y requieren de un tratamiento previo a su disposición final. Estos valores se deben principalmente al uso de ácidos y sustancias grasas en la síntesis de Poliglicerol y Poliuretano.

Tabla 6. Caracterización fisicoquímica agua residual

PARAMETRO	NORMA*	UNIDAD	RESULTADO
pH	6 – 9	-----	3.5
Turbiedad	30	NTU	526
SST	120	mg/l	856
Polímero disuelto	1.5	mg/l	226 832
Grasas y aceites	30	mg/l	22 840

*Norma ambiental Colombiana para vertimientos (resolución 0631 de 2015)

Fuente: CEIAM

Los valores de los parámetros se determinaron mediante métodos de análisis normalizados utilizados en el CEIAM. Al realizar un análisis de Sólidos Sedimentables (SSED) se observó un valor muy alto debido a que una gran cantidad de polímero se encontraba disuelto en el agua y nunca sedimentaba. Por lo tanto, dicho análisis se denominó polímero disuelto y es útil para conocer la cantidad de polímero retirado durante el tratamiento.

2.6 ENSAYOS DESPUÉS DE LA CARACTERIZACIÓN

Posterior a la realización de las pruebas de jarras se llevaron a cabo una serie de pruebas en el laboratorio del Grupo de Polímeros con un volumen de agua de 2 litros para constatar la efectividad del coagulante a usar en el tratamiento de las aguas residuales generadas. Se retiraron los sólidos suspendidos de gran tamaño y la grasa presente en el agua para que no causaran problemas en la acción del coagulante, y posterior a la etapa de floculación-sedimentación se realizó una filtración para separar el sedimento del agua tratada. En la tabla 7 se pueden ver las características iniciales del agua residual antes de la prueba con el coagulante seleccionado.

Tabla 7. Datos de pH y turbiedad antes de cada ensayo

PRUEBA	Ph	TURBIEDAD
1	4	486
2	3	580
3	3.6	512

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 SELECCIÓN DE COAGULANTE

En la selección de coagulante, se hizo un análisis de los parámetros físicoquímicos más importantes (pH y turbiedad), después de aplicado el tratamiento con cada uno de los coagulantes, Estos valores debían ajustar en el rango establecido por la normativa ambiental; pH entre 5 y 9, y turbiedad menor a 30 NTU (Unidad Nefelométrica de Turbiedad). [20]

En las tablas 8, 9, y 10 se presentan los resultados de las pruebas de jarras para cada coagulante. A la primera jarra no se le agregó, estas se tomaron como patrón (jarras 1,5 y 9). Los números 2, 3 y 4 representan cada una de las jarras a las que se les agrego una dosis diferente de coagulante. 6, 7, 8, 10, 11, y 12 son las respectivas réplicas.

Tabla 8. Resultados prueba de jarras Sulfato de Aluminio

SULFATO DE ALUMINIO													
VARIABLES		JARRA											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ENTRADA	DOSIS [ppm]	0	200	300	400	0	200	300	400	0	200	300	400
SALIDA	TURBIEDAD	459	158	109	122	426	212	132	167	491	276	163	189
	PH	8.1	7.7	7.3	6.9	7.6	7.1	7	6.8	7.8	7.2	6.8	6.4
	VOLUMEN LODO	0	100	120	113	70	90	124	110	0	93	110	98
INDIRECTAS	% REMOCIÓN	0	65	76	73	0	50	69	61	0	43	67	62
	% LODO GENERADO	0	10	12	11	7	9	12	11	0	9.3	11	9.8

Tabla 9. Resultados prueba de jarras Cloruro Férrico

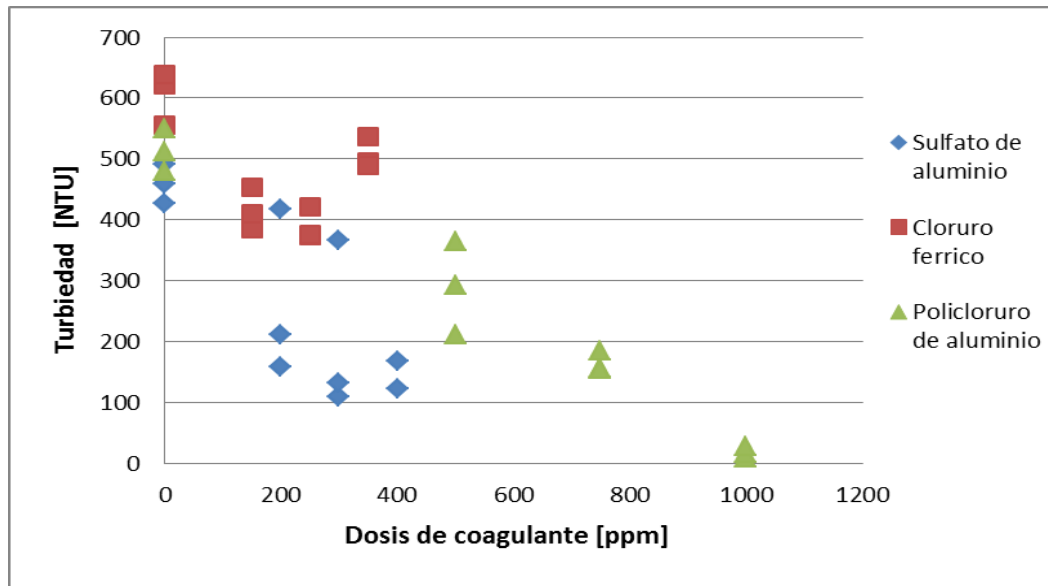
CLORURO FÉRRICO													
VARIABLES		JARRA											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ENTRADA	DOSIS [ppm]	0	150	250	350	0	150	250	350	0	150	250	350
SALIDA	TURBIEDAD	522	386	373	495	539	454	421	536	556	410	375	489
	PH	8.2	7.4	6.8	5.1	8	7.1	6.2	5.3	7.6	6.5	5.9	4.8
	VOLUMEN LODO	0	50	42	20	0	20	32	15	0	15	21	18
INDIRECTAS	% REMOCIÓN	16	38	40	20	15	29	34	16	0	26	33	12
	% LODO GENERADO	0	5	4.2	2	0	2	3.2	1.5	0	1.5	2.1	1.8

Tabla 10. Resultados prueba de jarras Policloruro de Aluminio

POLICLORURO DE ALUMINIO													
VARIABLES		JARRA											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ENTRADA	DOSIS [ppm]	0	500	750	1000	0	500	750	1000	0	500	750	1000
SALIDA	TURBIEDAD	512	365	157	8.35	480	212	185	17	550	292	154	28
	PH	8.4	7.8	7.1	6.6	8	7.4	6.9	6.6	7.8	7.2	6.6	6
	VOLUMEN LODO	0	80	130	180	0	95	115	162	0	98	110	145
INDIRECTAS	% REMOCIÓN	0	28	69	98	0	56	61	96	0	47	72	94
	% LODO GENERADO	0	8	13	18	0	9.5	12	16.2	0	9.8	11	14.5

En la figura 2 se observa la variación de la turbiedad en función de la dosis de coagulante. Según la gráfica, las dosis en las cuales se encuentran los valores más bajos de turbiedad para cada coagulante son: 300 mg/l, 250 mg/l y 1000 mg/l, correspondientes a Sulfato de Aluminio, Cloruro Férrico y Policloruro de Aluminio. Siendo este último el que alcanzó el valor más bajo (alrededor de 8 NTU). En cambio con Sulfato de Aluminio no se llega a valores por debajo de 100 NTU, y con Cloruro Férrico solo se logra reducir los valores de turbiedad hasta algo menos de 370 NTU.

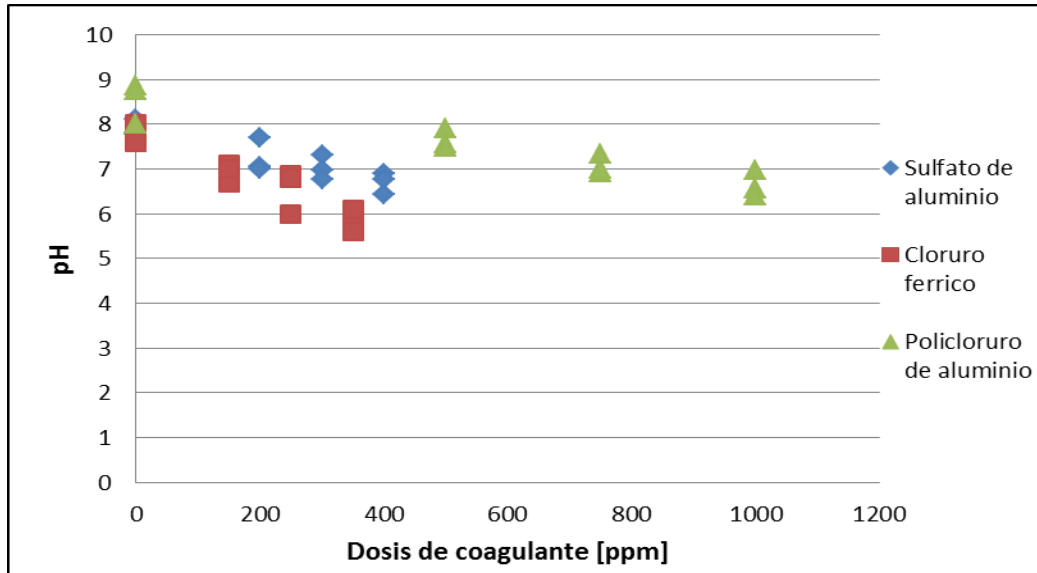
Figura 2. Variación de la turbiedad en función de la cantidad de coagulante



Estos resultados indican que el uso de Cloruro Férrico no es aconsejable para este proceso, Además, le proporciona al agua un color rojizo y requiere de otra operación posterior para su remoción. En cambio, con el uso del Policloruro de Aluminio se obtiene un agua transparente y no requiere una filtración con arena o carbón activado para cumplir con el valor establecido en la norma, y por consiguiente, se reduce el costo del tratamiento.

En la figura 3, se encuentra la relación entre el pH y la cantidad de coagulante aplicada. En dicha figura se muestran los valores finales de pH con respecto a los coagulantes utilizados y se puede concluir que los valores más estables se alcanzan utilizando Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio, estos valores se encuentran en los rangos establecidos por la normatividad ambiental(resolución 0631 de 17 de marzo de 2015), el cual define que el pH debe encontrarse entre 6 y 9 [21] por lo contrario el Cloruro Férrico muestra resultados que se encuentran por debajo de los límites permisibles.

Figura 3. Variación del pH en función de la cantidad de coagulante



En la tabla 11 se muestra un reporte de las variables (valores promedio) de salida por dosis óptima de coagulante.

Tabla 11. Variables de salida por coagulante

Coagulante	Turbiedad final [NTU]	pH final	Volumen de lodos [ml]	% Remoción	Tiempo de sedimentación [min]
Sulfato de aluminio	134	7	118	70	18
Cloruro férrico	389	6	32	35	15
Policloruro de aluminio	17	6.4	162	96	15

Analizando la información de la tabla se encuentra que la remoción más alta de la turbiedad se consigue con el Policloruro de Aluminio. La precipitación química con

Sulfato de Aluminio y Cloruro Férrico no produce valores que estén en el rango establecido por la norma para aguas residuales (30 NTU) [21].

3.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA FINAL

Se llevaron a cabo una serie de 3 pruebas con 2 litros de agua residual, utilizando Policloruro de Aluminio como coagulante y retirando los sólidos y grasas presentes en esta. Posteriormente se llevaron a cabo los mismos análisis fisicoquímicos que se realizaron al agua antes de realizar el tratamiento, para conocer la efectividad de este proceso. En la tabla 12 se resumen los resultados de los ensayos realizados anteriormente.

Tabla 12. Resultados ensayos con dos litros de agua residual

PARAMETRO	CARACTERIZACIÓN INICIAL	NORMA*	UNIDAD	CARACTERIZACIÓN FINAL
pH	3.5	6 - 9	-----	6.5
Turbiedad	526	30	NTU	20
SST	545	120	mg/l	12
Polímero disuelto	226,832	1.5	mg/l	3,328
Grasas y aceites	17,711	30	mg/l	10

*Norma ambiental Colombiana para vertimientos (resolución 0631 de 2015)

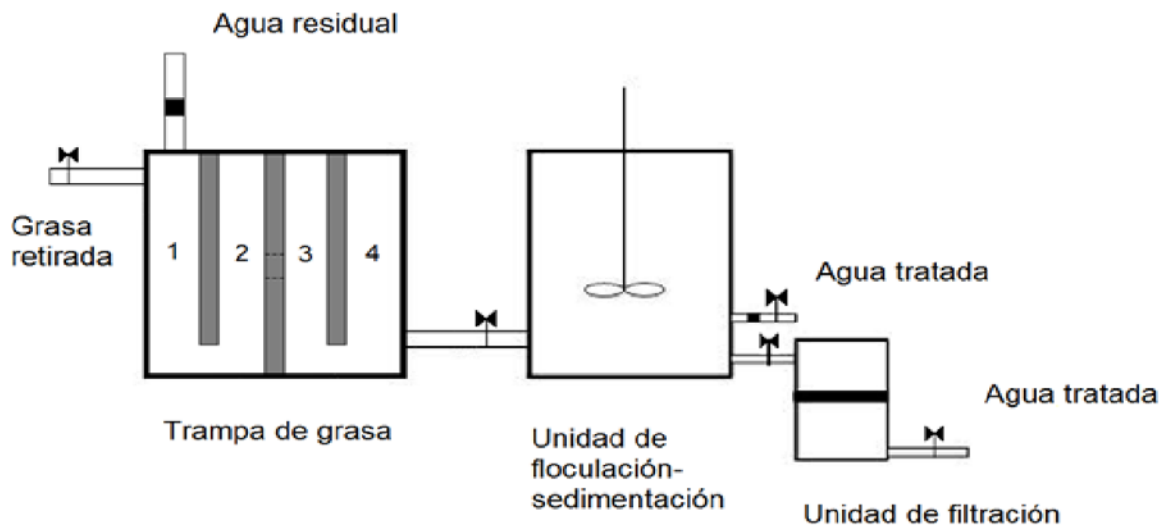
Fuente: CEIAM

Según los resultados obtenidos es evidente una disminución en los parámetros analizados (ver tabla 12). Los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos por la normatividad ambiental (resolución 0631 de 17 marzo de 2015), lo cual representa una disminución en la contaminación del agua usada. Cabe resaltar que aunque el valor de polímero disuelto se encuentra por encima

del límite establecido, este se redujo en un 98.5 %; lo cual demuestra la efectividad del tratamiento realizado.

3.3 PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Figura 4. Diagrama diseño básico tratamiento de aguas residuales



3.3.1 Unidades de operación. Las unidades de operación seleccionadas son: trampa de grasa, unidad de floculación-sedimentación y unidad de filtración. La cantidad de agua residual generada en el laboratorio se muestra en la tabla 2, aunque se recomienda realizar este tratamiento dos veces por semana para evitar acumulación excesiva de residuos. Por lo tanto, las dimensiones de estas unidades se basan en un volumen de 8 litros de agua residual.

3.3.2 Trampa de grasa. El agua residual debe estar libre de la mayor cantidad de grasas para evitar que estas afecten la acción del coagulante. El agua debe ser filtrada antes de entrar a la trampa mediante el uso de un filtro, con el fin de retirar los sólidos suspendidos de gran tamaño y evitar que interfieran en las operaciones posteriores. La trampa constará de 3 barreras de 0.5 cm de grosor (la barrera del centro posee un orificio de forma rectangular en el centro y las otras de menos altura y dejando un espacio de 3 cm en la parte inferior de la trampa) y 4 compartimientos, lo cual hará que por diferencia de densidad, las grasas presentes en el líquido asciendan a la superficie del mismo y puedan retirarse fácilmente, mientras que el agua a tratar en la etapa posterior (floculación-sedimentación) se retirará por la parte inferior. Teniendo en cuenta la cantidad de agua recogida semanalmente; según los datos obtenidos en las fichas de seguimiento, la capacidad de la trampa de grasa será de 10 litros, con un sobre diseño del 20%. El tiempo de retención será de 5 minutos. En la tabla 13 se presentan las dimensiones de la trampa de grasa.

Tabla 13. Dimensiones trampa de grasa

Secciones	Dimensiones		
	Altura [m]	Ancho [m]	Largo [m]
Compartimiento 1	0.15	0.2	0.9
Barrera 1	0.12	0.2	0.005
Compartimiento 2	0.15	0.2	0.09
Barrera 2	0.12	0.2	0.005
Orificio	0.5	0.1	0.005
Compartimiento 3	0.15	0.2	0.09
Barrera 3	0.12	0.2	0.005
Compartimiento 4	0.15	0.2	0.075

3.3.3 Unidad de floculación-sedimentación. La capacidad de la unidad de floculación-sedimentación también será de 10 litros. Esta constará del tanque respectivo y su sistema de agitación. En esta unidad se realiza la adición del

coagulante al agua residual, y se lleva a cabo el proceso de agitación para la obtención de flóculos. La agitación se realiza con un agitador mecánico. Las dimensiones de la unidad de floculación-sedimentación se encuentran en la tabla 14.

Tabla 14. Dimensiones unidad floculación-sedimentación

TANQUE	DIMENSIONES		
	Altura [m]	Ancho [m]	Largo [m]
Floculación – sedimentación	0.25	0.2	0.25

3.3.4 Unidad de filtración. La unidad de filtración va a ser más pequeña. Esta va a recibir un volumen de agua menor al inicial, porque solo se va a filtrar el agua que está en el fondo del tanque. Debido a que después del proceso de sedimentación el lodo va a quedar suspendido en el agua en la unidad de floculación-sedimentación. El volumen de esta va a ser de 3 litros. Las dimensiones de la unidad de filtración se ven en la tabla 15.

Tabla 15. Dimensiones unidad de filtración

TANQUE	DIMENSIONES	
	Altura [m]	Diámetro [m]
Filtración	0.15	0.12

Todas las unidades de operación pueden ser diseñadas en vidrio, debido a que es un material resistente a la corrosión, y al contenido de ácido del agua.

3.3.5 Costos de reactivos para realizar el proceso. En la tabla 16 se muestra el costo de los diferentes reactivos utilizados. Estos datos se obtuvieron con base en las concentraciones que proporcionaron los mejores resultados en la prueba de jarras, y haciendo el tratamiento dos veces por semana.

Tabla 16. Costo de reactivos

COAGULANTE	CANTIDAD DE REACTIVOS		COSTO DE REACTIVOS		
	Mensual [Kg]	Anual [Kg]	Costo [\$/Kg]	Costo mensual [\$]	Costo anual [\$]
Sulfato de aluminio	0.02	0.22	4000	80	960
Cloruro férrico	0.02	0.20	5000	100	1000
Policloruro de aluminio	0.07	0.80	2000	140	1600

4. CONCLUSIONES

- El uso de Policloruro de Aluminio como coagulante, presenta una alternativa para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con residuos poliméricos. Los valores de pH y turbiedad después de ser usado el químico, se encuentran en los límites permisibles para aguas residuales según la resolución 0631 del 15 de marzo de 2015. La disminución de la turbiedad y la estabilización del pH son las principales ventajas de este coagulante. Los valores establecidos por la norma se obtienen con una dosis de 1 gramo de Policloruro de Aluminio por litro de agua contaminada.
- Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas con el Sulfato de Aluminio y el Cloruro Férrico, no muestran una disminución notable en la turbiedad del agua. Por lo tanto, el uso de estos coagulantes no presenta una mejora significativa en la calidad del agua residual, en comparación con el Policloruro de Aluminio.
- La disminución considerable de los parámetros fisicoquímicos (Turbiedad, SST, grasas y aceites y cantidad de polímero disuelto), garantizan la efectividad del tratamiento y la disminución en la contaminación del agua, causada por el lavado de material de laboratorio usado en las etapas de síntesis y caracterización de polímeros.

5. RECOMENDACIONES

1. El almacenamiento del agua no debe ser mayor a 8 días, debido a que la acumulación de residuos genera un aumento en la grasa presente en el agua.
2. Se debe ser estricto en el control de los tiempos para las velocidades de agitación, debido a que cuando se excede dicho tiempo, los flóculos formados son muy pequeños, no sedimentan fácilmente, y por lo tanto, el valor de la turbiedad es alto.
3. Evitar la preparación excesiva de soluciones tanto de coagulante como de Hidróxido de sodio, para no generar residuos innecesarios de estas.
4. Limpiar adecuadamente los restos de reacciones en el material de laboratorio usado, para evitar que estos se mezclen con el agua residual y generen problemas durante el tratamiento.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] MUÑOZ, Ángel. Recursos Mundiales. Edición 2004. Madrid, España. Editorial Ecoespaña, 2004. p 87.

[2] HIGUERA, Norisabel. Diagnóstico y evaluación de la calidad de agua en la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR de Río Frio. Bucaramanga, 2014, 57 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

[3] PERDOMO, Gilberto. Plásticos y medio ambiente. Mérida, Venezuela. 2002. Universidad de los Andes. Departamento de Química. Grupo de Polímeros.

[4] ESPAÑA, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO. Producción de polímeros. Madrid, España. 2009. 1-8 p. 17-18.

[5] BENAVIDES, Mariano. Proyecto de investigación aplicada: aplicación de los polímeros en la medicina. SENA – Valle.

[6] MUHAMMAD, Al Malack. et al. Coagulation of polymeric wastewater discharged by a chemical Factory, King Fahd University of Petroleum and Minerals. Arabia saudí, 1998.

[7] HENRY, J. Glynn. HEINKE, Gary W. Environmental Science and Engineering. Traducido por Pablo Eduardo Roig Vásquez. 2 ed. México D.F: Prentice Hall, 1999. p 389-392.

[8] RAMALHO, Rubens. Tratamiento de aguas residuales. Barcelona: Editorial Reverté S.A, 1996. p 23-26.

- [9] IONESCU, Mihail. Chemistry and Technology of Polyols for Polyurethanes. Rapra Technology Limited. Shawbury, U.K, 2005.
- [10] DÍAZ, Edgar y MUÑOZ, Oscar. Estudio de las variables de síntesis de poliuretano a partir de aceite de ricino y glicerol. Bucaramanga, 2014, 62 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.
- [11] GONZALEZ, Carlos y ZEA, Daira. Síntesis y caracterización de hidrogeles a partir de la esterificación de poliglicerol con ácido oleico. Bucaramanga, 2014, 70 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.
- [12] GALLO, Julián y URIBE, Juan. Reutilización de lodos de planta de potabilización en el tratamiento de aguas residuales. Manizales, 2003, 436 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Departamento de Ingeniería Química.
- [13] PÉREZ, Daisy. Evaluación técnica, económica y ambiental de coagulantes líquidos para la implementación de una nueva dosificación en la planta Floridablanca del A.M.B. S.A. E.S.P. Bucaramanga, 2012, 77 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.
- [14] COGOLLO, Juan M. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del Hidroxicloruro de Aluminio. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín 2010.
- [15] PEREZ, Francisco J. y URREA, Mario A. Abastecimiento de aguas tema 6 Coagulación y floculación. Universidad Politécnica de Cartagena, 2011. p 8-30.

[16] URIBE, José. Implementación del Policloruro de Aluminio como coagulante en la Planta de Potabilización Morrónico del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. Bucaramanga, 2014, 60 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

[17] RODRIGUEZ, Antonio.et al. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Madrid, España. 2006, 21-23 p. Universidad de Alcalá. Circulo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía.

[18] RUIZ, María. Propuesta tecnológica para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de pulido en masa realizado en la empresa de galvanoplastia Fantaxias S.A.S. Bucaramanga, 2011, 42 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

[19] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICASY CERTIFICACIÓN. Procedimiento para el ensayo de Coagulación-Floculación en un recipiente con agua o método de jarras. Bogotá. D.C: Norma Técnica Colombiana 3903. ICONTEC, 2001. 15 p.

[20] GUARIN, Sergio. OLIVEROS, Laura. Manual laboratorio de diagnóstico y control de calidad de agua. Bucaramanga 2014.Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. p 79-85.

[21] COLOMBIA, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 (17, Marzo, 2015). Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos

puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Bogotá. D.C.

BIBLIOGRAFÍA

BENAVIDES, Mariano. Proyecto de investigación aplicada: aplicación de los polímeros en la medicina. SENA – Valle.

COGOLLO, Juan M. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del Hidroxicloruro de Aluminio. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín 2010.

COLOMBIA, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0631 (17, Marzo, 2015). Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Bogotá. D.C.

DÍAZ, Edgar y MUÑOZ, Oscar. Estudio de las variables de síntesis de poliuretano a partir de aceite de ricino y glicerol. Bucaramanga, 2014, 62 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

ESPAÑA, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO. Producción de polímeros. Madrid, España.2009.1-8 p. 17-18.

GALLO, Julián y URIBE, Juan. Reutilización de lodos de planta de potabilización en el tratamiento de aguas residuales. Manizales, 2003, 436 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Departamento de Ingeniería Química.

GONZALEZ, Carlos y ZEA, Daira. Síntesis y caracterización de hidrogeles a partir de la esterificación de poliglicerol con ácido oleico. Bucaramanga, 2014, 70 p.

Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

GUARIN, Sergio. OLIVEROS, Laura. Manual laboratorio de diagnóstico y control de calidad de agua. Bucaramanga 2014. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. p 79-85.

HENRY, J. Glynn. HEINKE, Gary W. Environmental Science and Engineering. Traducido por Pablo Eduardo Roig Vásquez. 2 ed. México D.F: Prentice Hall, 1999. p 389-392.

HIGUERA, Norisabel. Diagnóstico y evaluación de la calidad de agua en la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR de Río Frio. Bucaramanga, 2014, 57 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICASY CERTIFICACIÓN. Procedimiento para el ensayo de Coagulación-Floculación en un recipiente con agua o método de jarras. Bogotá. D.C: Norma Técnica Colombiana 3903. ICONTEC, 2001. 15 p.

IONESCU, Mihail. Chemistry and Technology of Polyols for Polyurethanes. Rapra Technology Limited. Shawbury, U.K, 2005.

MUHAMMAD, Al Malack.et al. Coagulation of polymeric wastewater discharged by a chemical Factory, King Fahd University of Petroleum and Minerals. Arabia saudí, 1998.

MUÑOZ, Ángel. Recursos Mundiales. Edición 2004. Madrid, España. Editorial Ecoespaña, 2004. p 87.

PERDOMO, Gilberto. Plásticos y medio ambiente. Mérida, Venezuela. 2002. Universidad de los Andes. Departamento de Química. Grupo de Polímeros.

PÉREZ, Daisy. Evaluación técnica, económica y ambiental de coagulantes líquidos para la implementación de una nueva dosificación en la planta Floridablanca del A.M.B. S.A. E.S.P. Bucaramanga, 2012, 77 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

PEREZ, Francisco J. y URREA, Mario A .Abastecimiento de aguas tema 6 Coagulación y floculación. Universidad Politécnica de Cartagena, 2011. p 8-30.

RAMALHO, Rubens. Tratamiento de aguas residuales. Barcelona: Editorial Reverté S.A, 1996. p 23-26.

RODRIGUEZ, Antonio.et al. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Madrid, España. 2006, 21-23 p. Universidad de Alcalá .Circulo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía.

RUIZ, María. Propuesta tecnológica para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de pulido en masa realizado en la empresa de galvanoplastia Fantaxias S.A.S. Bucaramanga, 2011, 42 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.

URIBE, José. Implementación del Policloruro de Aluminio como coagulante en la Planta de Potabilización Morrónico del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga

S.A. E.S.P. Bucaramanga, 2014, 60 p. Trabajo de grado (Ingeniería Química).
Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas.
Escuela de Ingeniería Química.

ANEXOS


ANEXO A. Ficha de diagnóstico

Figura A1. Ficha de diagnóstico

PROYECTO			
INTEGRANTES			código
			código
REACTIVOS			
REALIZACION DEL LAVADO DE MATERIAL			
OBSERVACIONES			
PROCEDIMIENTO	1. Retirar los residuos solidos de los implementos usados y desechar en la bolsa roja		
	2. realizar los enjuages correspondientes para retirar los residuos restantes y almacenar en el recipiente dependiendo del producto obtenido		
	3. dejar en remojo los implementos que lo necesiten. (recipiente verde), Enjuagar y desechar en el recipiente respectivo.		
	4. las soluciones basicas se desechar en un recipiente diferente a los destinados a recoger el agua de lavado		

ANEXO B. Ficha seguimiento

Figura A2. Ficha seguimiento

		FORMATO REGISTRO TRABAJO EN LABORATORIO		Generado por: Profesional Soporte Científico y Tecnológico versión 01	
Estudiantes de pregrado y posgrado GIP		Hemán Camilo Calderón		COORDINACIÓN GIP	
Edificio:	Laboratorio	303	Responsable	Cargos	Estudiante posgrado
Fecha (D/M/A)	Hora inicio/finalización	Códigos	Nombre Estudiantes	Título del Proyecto	Descripción de reactivos/Nombre, conc., y volumen utilizado
					Descripción del material (nombre y estado)
					Agua de lavado generada(ml)
					Observaciones

ANEXO C. Pruebas aguas residuales Poliuretano

Tabla A1. Resultados prueba de jarras Sulfato de Aluminio para PU

SULFATO DE ALUMINIO													
VARIABLES		JARRA											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ENTRADA	DOSIS [ppm]	0	200	300	400	0	200	300	400	0	200	300	400
SALIDA	TURBIEDAD	221	139	128	77	243	187	123	88	298	177	112	66
	PH	8.7	7.7	6.9	7.1	8.3	7.4	6.9	7.8	7.6	7	6.7	6.1
	VOLUMEN LODO	0	60	75	90	0	45	60	75	0	53	67	80
INDIRECTAS	% REMOCIÓN	0	37	42	65	0	23	49	64	0	41	62	78
	% LODO GENERADO	0	6	7.5	9	0	4.5	6	7.5	0	5.3	6.7	8

Tabla A2. Resultados prueba de jarras Cloruro Férrico para PU

CLORURO FÉRRICO													
VARIABLES		JARRA											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ENTRADA	DOSIS [ppm]	0	150	250	350	0	150	250	350	0	150	250	250
SALIDA	TURBIEDAD	198	78	15	25	234	98	23	43	187	100	47	56
	PH	7.22	7	6.8	6.2	8	7.5	7	6.4	7.7	7.3	6.6	6
	VOLUMEN LODO	0	80	95	90	0	100	108	98	0	85	100	94
INDIRECTAS	% REMOCIÓN	0	61	92	87	0	58.1	90	82	0	47	75	70
	% LODO GENERADO	0	8	9.5	9	0	10	11	9.8	0	8.5	10	9.4

Tabla A3. Resultados prueba de jarras Policloruro de Aluminio para PU

POLICLORURO DE ALUMINIO													
VARIABLES		JARRA											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ENTRADA	DOSIS [ppm]	0	500	750	1000	0	500	750	1000	0	500	750	1000
SALIDA	TURBIEDAD	290	189	98	21	220	198	76	25	165	98	76	32.1
	PH	9	8.4	7.6	7.2	8.5	8	7.3	6.68	8	7.7	7.1	6.54
	VOLUMEN LODO	0	68	87	96	0	32	78	100	0	45	70	98
INDIRECTAS	% REMOCIÓN	0	35	66	92.8	0	10	65	88.6	0	41	54	80.5
	% LODO GENERADO	0	6.8	8.7	9.6	0	3.2	7.8	10	0	4.5	7	9.8

Figura A3. Variación de la turbiedad en función de la cantidad de coagulante PU

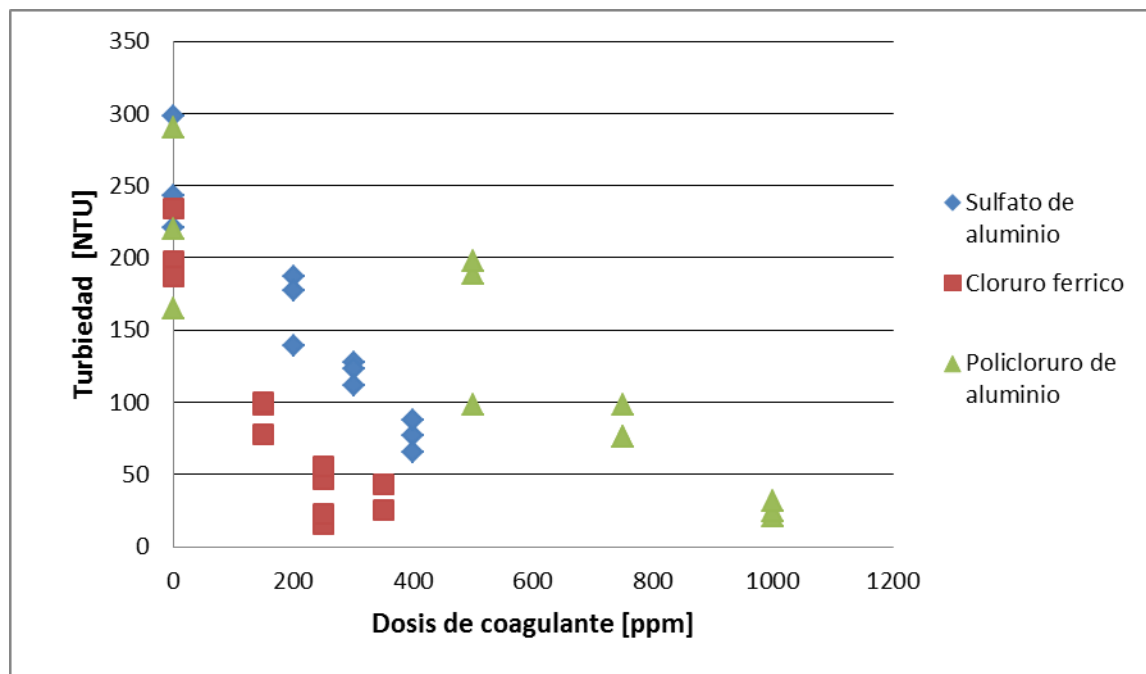
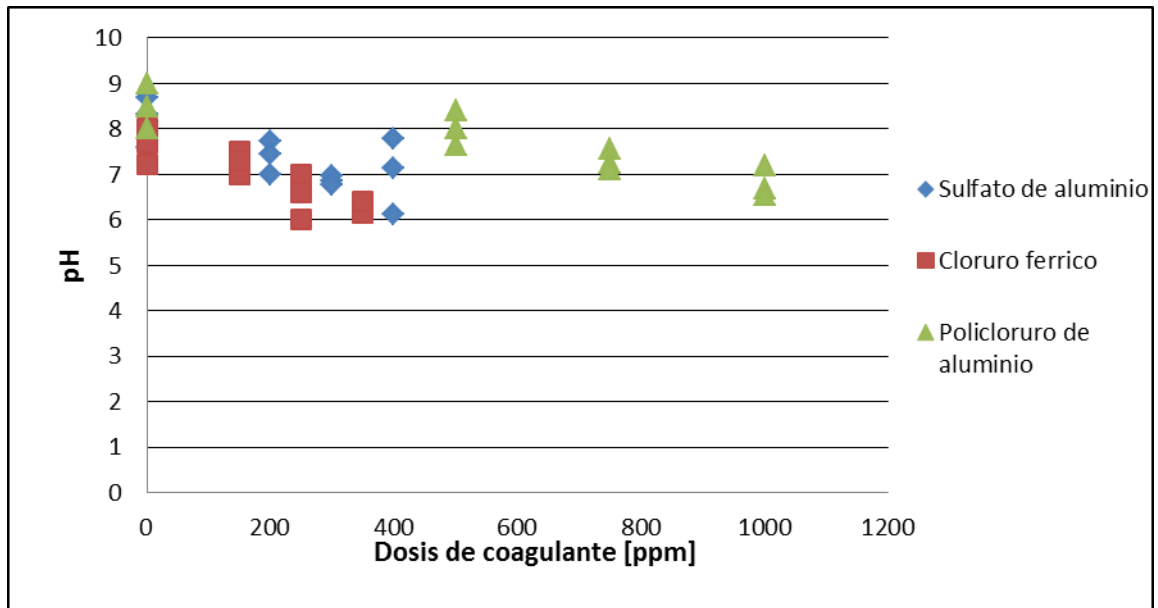


Figura A4. Variación del pH en función de la cantidad de coagulante PU



ANEXO D. Pruebas aguas residuales Poliglicerol

Tabla A4. Resultados prueba de jarras Sulfato de Aluminio para PG

SULFATO DE ALUMINIO													
VARIABLES		JARRA											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ENTRADA	DOSIS [ppm]	0	200	300	400	0	200	300	400	0	200	300	400
SALIDA	TURBIEDAD	650	556	478	516	621	598	467	485	598	523	476	498
	PH	8.7	7.7	7.1	6.8	8.5	7.2	6.8	6.2	8	7.3	6.9	6.1
	VOLUMEN LODO	0	10	15	9	0	13	15	20	0	10	15	18
INDIRECTAS	% REMOCIÓN	0	14	26	20.6	0	3.7	25	21.9	0	12.5	20.4	16.72
	% LODO GENERADO	0	1	1.5	0.9	0	1.3	1.5	2	0	1	1.5	1.8

Tabla A5. Resultados prueba de jarras Cloruro Férrico para PG

CLORURO FÉRRICO													
VARIABLES		JARRA											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ENTRADA	DOSIS [ppm]	0	150	250	350	0	150	250	350	0	150	250	250
SALIDA	TURBIEDAD	687	654	630	660	596	547	492	512	632	598	512	534
	PH	8.2	7.6	6.8	6	7.8	7.1	6.4	5.8	8.6	7.8	7.1	6.5
	VOLUMEN LODO	0	0	0	0	0	0	10	3	0	5	9	0
INDIRECTAS	% REMOCIÓN	0	4.8	8.3	3.93	0	8.2	17	14.1	0	5.38	18.99	15.51
	% LODO GENERADO	0	0	0	0	0	0	1	0.3	0	0.5	0.9	0

Tabla A6. Resultados prueba de jarras Policloruro de Aluminio para PG

POLICLORURO DE ALUMINIO													
VARIABLES		JARRA											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ENTRADA	DOSIS [ppm]	0	500	750	1000	0	500	750	1000	0	500	750	1000
SALIDA	TURBIEDAD	712	678	612	568	678	623	578	543	590	567	512	498
	PH	7.5	6.9	6.4	6	8	7.3	7	6.4	8.6	8	7.4	6.5
	VOLUMEN LODO	0	0	0	10	0	0	8	10	0	0	0	10
INDIRECTAS	% REMOCIÓN	0	4.8	14	20.2	0	8.1	15	19.9	0	3.9	13.22	15.59
	% LODO GENERADO	0	0	0	1	0	0	0.8	1	0	0	0	1

Figura A5. Variación de la turbiedad en función de la cantidad de coagulante PG

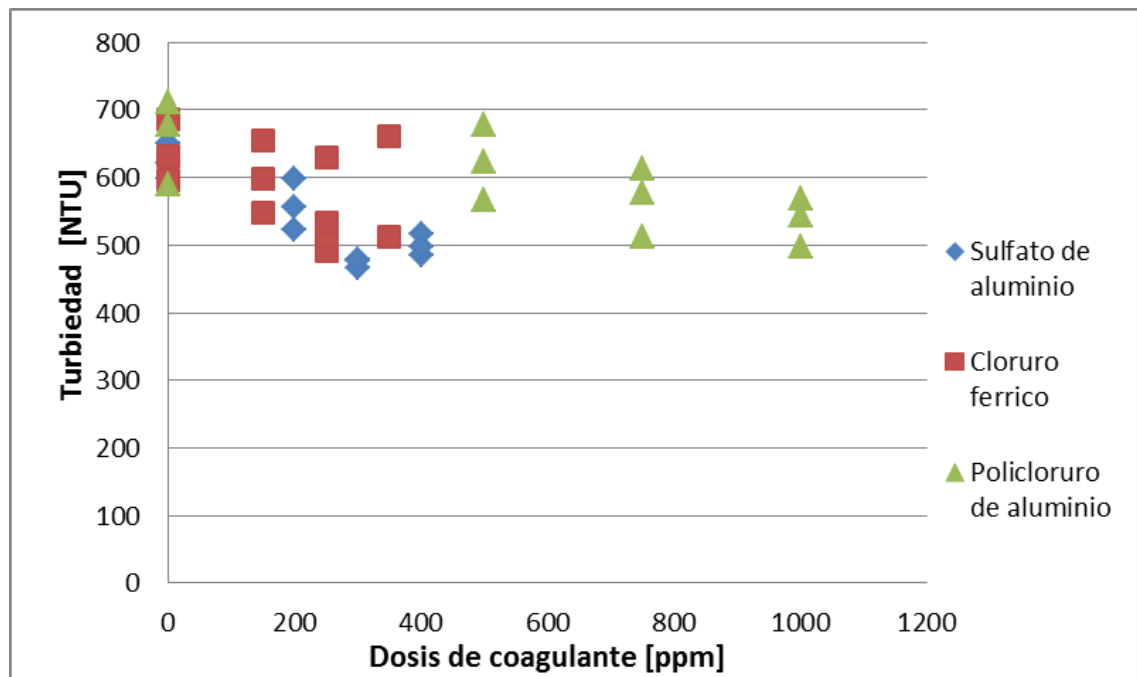
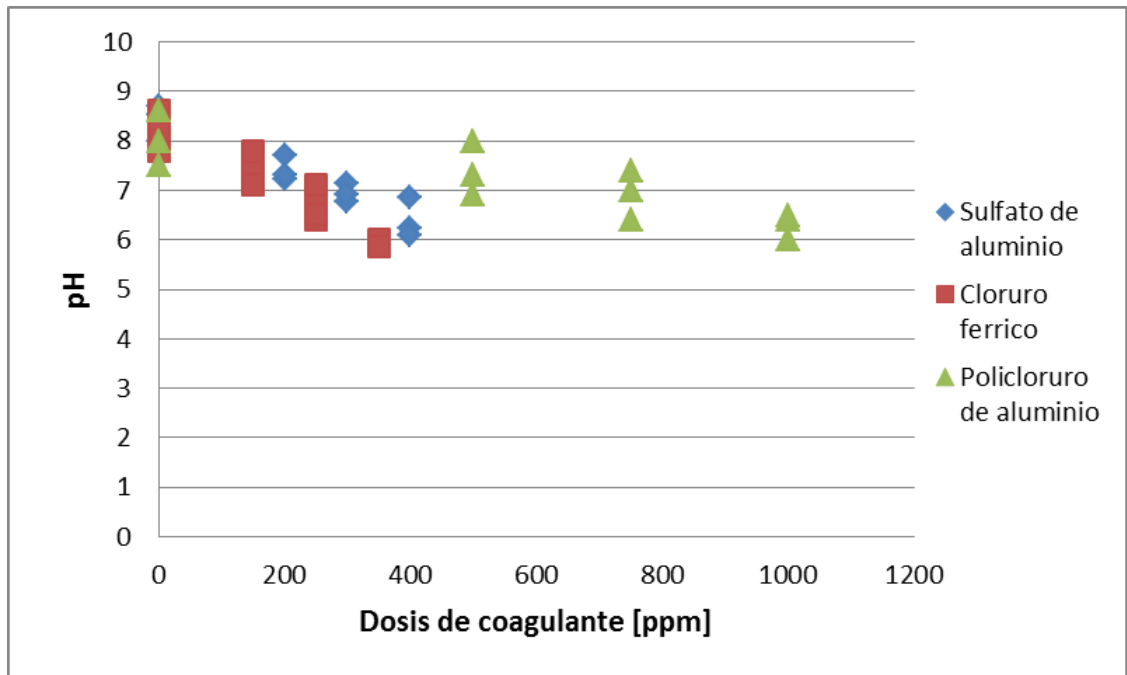


Figura A6. Variación del pH en función de la cantidad de coagulante PG



ANEXO E. Registro fotográfico

Figura A7. Residuos Poliglicerol



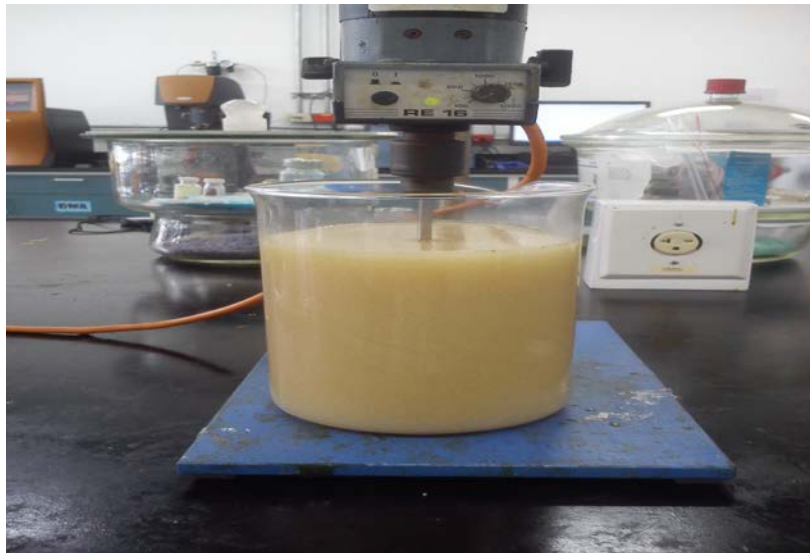
Figura A8. Residuos Poliuretano



Figura A9. Mezcla de residuos posterior al tratamiento con Policloruro de Aluminio

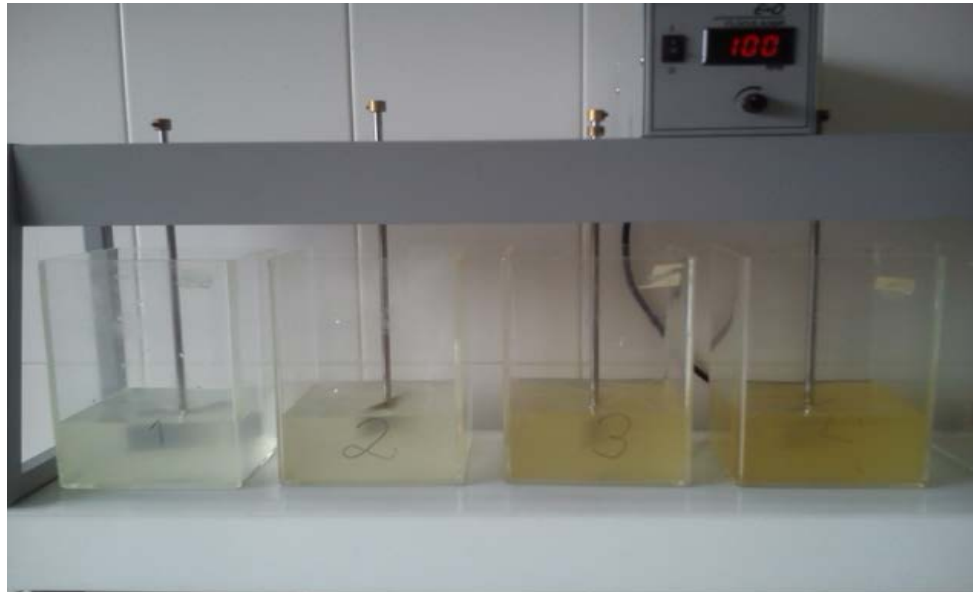


Figura A10. Ensayo con dos litros de agua residual



ANEXO F. Equipo de jarras

Figura A11. Equipo de jarras



Fuente: Laboratorio de Especialización en Química Ambiental. Escuela de Ingeniería Química UIS.

El equipo de prueba de jarras contiene seis remos que remover el contenido de seis envases de 1 litro. Un envase actúa como un control, mientras que las condiciones de funcionamiento puede variar entre los restantes cinco contenedores. Un medidor de RPM en la parte superior central del dispositivo permite el control uniforme de la velocidad de mezclado en todos los contenedores.

Procedimiento de prueba:

El procedimiento de prueba de jarras incluye los siguientes pasos:

1. Llene los recipientes de prueba con la muestra de agua. Un contenedor se utilizará como control mientras que los otros cinco contenedores se pueden ajustar dependiendo de qué condiciones se van a evaluar. Por ejemplo, las dosis de coagulante se pueden agregar dependiendo la concentración a trabajar en cada una.
2. Añadir el coagulante a cada contenedor y agitar a aproximadamente 100 rpm por 1 minuto. La etapa de mezcla rápida ayuda a dispersar el coagulante a través de cada contenedor.
3. Reducir la velocidad de agitación a 40 rpm y continuar agitando por 10 minutos, posteriormente se desciende a 8 rpm; Esta velocidad más lenta ayuda a promover la formación de flóculos mediante la mejora de las colisiones de partículas que dan lugar a flóculos más grandes.
4. Apagar los mezcladores y permitir que los contenedores sedimenten de 15 a 20 minutos. A continuación, medir la turbidez final en cada contenedor. La turbidez final se puede evaluar más o menos a simple vista o con más precisión usando un turbidímetro.

ANEXO G. Uso turbidímetro

Calibración del turbidímetro







Se debe asegurar que el equipo esté debidamente calibrado antes de iniciar la toma de cualquier medida. El turbidímetro disponible en la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander es el que se ve en la figura 2. Es un turbidímetro para uso en campo que mide turbiedad desde 0 NTU hasta 1000 NTU.

Figura A12. Turbidímetro utilizado



Fuente: Laboratorio de Procesos. Escuela de Ingeniería Química UIS.

Figura A13. Calibración del turbidímetro

Teclado	
	Configuraciones , configuración del menú
	Calibración , muestra la pantalla calibración, inicia la calibración y selecciona las opciones de calibración.
	Abajo y arriba , se desplaza por los menús, ingresa números y letras.
	Izquierda , accede a la verificación de calibración, cancela o sale de la pantalla del menú actual y pasa a la pantalla del menú anterior.
	Medición, derecha , Lee la muestra de turbidez, selecciona o confirma opciones.
	Gestión de datos , visualiza borra o transfiere los datos guardados.

Fuente: Laboratorio de Procesos. Escuela de Ingeniería Química UIS.

Calibración.

1. Pulse la tecla **[CALIBRACIÓN]** y siga las instrucciones del display.
2. Inserte el estándar Stabcal para 20 NTU en el soporte de portamuestra y cierre la tapa.
3. Pulse la tecla **[MEDICIÓN]** la pantalla mostrara estabilizando y luego el resultado.
4. Repita el procedimiento de los pasos 2 y 3 con el estándar para 100 NTU y 800 NTU si el equipo lo pide.
5. Al finalizar la calibración pulse **[MEDICIÓN]** y guarde los resultados.

Medición de la turbiedad.

1. Al empezar las mediciones es recomendable que los portamuestras se encuentren completamente limpios para evitar interferencias en la medición.
2. Cargue cada portamuestra con aproximadamente 15 ml de muestra, hasta la línea blanca del portamuestra.
3. Inserte el portamuestras en el soporte de portamuestra y cierre la tapa.
4. pulse la tecla **[MEDICIÓN]**.
5. Repita el procedimiento anterior para cada una de las muestras.

ANEXO H. Protocolo manejo de residuos y tratamiento de aguas residuales

1. CLASIFICACIÓN

Los residuos producidos en las actividades relacionadas con el laboratorio de polímeros, deben ser clasificados según su procedencia, en los envases y bolsas correspondientes, debidamente marcadas para hacer más fácil la labor de recolección y tratamiento.

El manejo de residuos sólidos (desechados en la bolsa roja) y de soluciones básicas, restos de ácidos, y aceites, es realizado por la empresa DESCONT S.A y su recolección se lleva a cabo según días previstos por la sede Guatiguará.

1.1 Residuos sólidos

Se disponen en la bolsa roja, se desechan como residuos sólidos los siguientes elementos:

- Guantes.
- Toallas de papel.
- Residuos de polímeros solidificados.
- Papel filtro
- Jeringas

Los restos de implementos de vidrio rotos se deben disponer en un lugar diferente a la bolsa roja para evitar que esta se rompa y se generen restos de material en el laboratorio.

1.2 Residuos líquidos

Dependiendo del tipo de residuo líquido se debe almacenar según criterio de seguridad.

Soluciones básicas: recipientes de plástico debidamente marcados con etiqueta color negro especificando que tipo de solución es y su concentración.

Soluciones ácidas: si es posible se deben neutralizar y almacenar en recipientes de vidrio debidamente marcados con etiquetas negras y especificando tipo de ácido y concentración.

1.3 Aguas residuales

Las aguas residuales, son aquellas que son generadas después de lavar el material de laboratorio usado en las diferentes prácticas. Estas aguas son recogidas en recipientes de plástico debidamente marcados, para posteriormente realizar el tratamiento.

2. LAVADO DE MATERIAL DE LABORATORIO

El lavado correcto de material es independiente de la práctica que se haya realizado.

Se deben retirar todos los restos de material que se han solidificado y se deben arrojar como residuos sólido en la bolsa roja.

Se realizaran el número correspondiente de enjuagues para dejar el material limpio, toda el agua usada para el lavado de material se debe almacenar en los galones marcados respectivamente, dependiendo de la síntesis y caracterización realizada (Poliuretano, Poliglicerol)

3. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

El sistema tiene una capacidad máxima para 8 litros de agua residual, esta capacidad no se debe exceder para evitar derrames o que el sistema de agitación tenga un trabajo forzado.

El coagulante a usar es el Policloruro de aluminio, antes de agregarlo al agua residual se debe preparar una solución con agua destilada.

Por cada litro de agua a tratar se necesita 1 gramo de Policloruro de aluminio, por lo tanto la solución a preparar para el tratamiento de los 8 litros de agua va a ser:

$$\frac{10 \text{ gramos policloruro de aluminio}}{100 \text{ ml de agua destilada}}$$

Pasos a seguir:

1. Llenar la primera división de la trampa de grasa con el agua residual, dejar hasta que el ultimo compartimiento este lleno y desocupar por la parte inferior de este. La grasa debe quedar atrapada entre el espacio correspondiente entre la primera y segunda división.
2. Medir el pH del agua residual si está por debajo de 6, se debe subir con solución 1M de NaOH.
3. Llenar la unidad de floculación sedimentación con 8 litros de agua residual.
4. Preparar la solución de coagulante como se describió anteriormente.
5. Agregar 80 ml de la solución de coagulante al agua residual.
6. Agitar el agua residual a 300 rpm durante 1 minuto, bajar la velocidad a 200 rpm y mantener durante 10 min, transcurrido este tiempo se baja nuevamente la

velocidad a 50 rpm por 10 minutos más. Finalmente se apaga el agitador y se deja sedimentar el lodo.

7. Después de sedimentar, se abre la llave de paso del agua tratada, cuando el nivel alcance la parte donde se encuentra el lodo se cierra y se abre la llave de paso del fondo del tanque para llevar a filtrar el agua sobrante.

8. Por último se retira el lodo retenido en el proceso de filtración y se desecha como residuo sólido en la bolsa roja correspondiente.