



**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE DOS COAGULANTES NATURALES
PARA LA REMOCIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES EN EL EFLUENTE
FINAL DE LA EMPRESA TEXTIL INRUZZ S.A.S CON RESPECTO AL
COAGULANTE COMERCIAL SULFATO DE ALUMINIO**

Rubén Darío Espinosa Otálora

Sebastián Zuluaga Orjuela

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, 24 de octubre del 2018

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE DOS COAGULANTES NATURALES
PARA LA REMOCIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES EN EL EFLUENTE
FINAL DE LA EMPRESA TEXTIL INRUZZ S.A.S CON RESPECTO AL
COAGULANTE COMERCIAL SULFATO DE ALUMINIO**

Rubén Darío Espinosa Otálora

Sebastián Zuluaga Orjuela

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Director (a):

John Fredy Arias Duque

Línea de Investigación:

Saneamiento ecológico

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

Año

2018

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

(Dedicatoria)

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el que nos inspiró y nos dio fuerza para continuar en este proceso de convertirnos en ingenieros. A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. son los mejores padres y a todas las personas que nos han apoyado, en especial al profesor John Fredy Arias Duque que nos apoyó para que el trabajo se realizara con éxito y nos compartieron sus conocimientos.

Tabla de contenido

1. Introducción	1
2. Presentación del problema	3
3. Justificación de la investigación	4
4. Objetivo general	5
4.1 objetivos específicos	5
5. Marcos de referencia	5
5.1 Geográfico	5
5.2 Estado del arte	7
5.3 Teórico-conceptual	9
5.3.1 Generalidades	9
5.3.2 Coagulación	9
5.3.3 Mecanismos de coagulación	10
5.3.4 Neutralización de carga	10
5.3.5 Puente de polímero	11
5.3.6 Parche electrostático	12
5.3.7 Coagulante químico	12
5.3.8 Polímeros orgánicos sintéticos	13
5.3.9 Coagulante de origen natural	13
5.3.10 Coagulante de Moringa oleífera	14
5.3.11 Coagulante de Nopal (<i>Opuntius indica</i>)	14
5.3.12 Coagulante de Tamarindo	14
5.3.13 Coagulante de quitosano	15
5.3.14 Coagulante de pectina de Naranja	15
5.3.15 Coagulante de Durazno	16
5.3.16 Agua industria textil	16
5.3.17 Sólidos suspendidos totales (SST)	17
5.3.18 Turbidez	17
5.3.19 Color	17
5.3.20 DQO	17
5.3.21 Conductividad	17
5.3.22 pH	18
5.4 Normativo	18

5.5 Institucional	22
5.5.1 Organigrama de la empresa	24
6. Metodología	25
6.1 Diseño metodológico	25
6.1.1 Enfoque	25
6.1.2 Alcance	25
6.1.3 Unidad de análisis	25
6.1.4 Método	26
6.1.5 Variables, aspectos e indicadores	26
6.1.6 Tabla metodológica	26
6.1.7 Metodología paso a paso	28
7. Plan de trabajo	29
7.1 Objetivo específico 1	29
7.1.1 Metodologías obtención de los coagulantes	29
7.2 Objetivo específico 2	32
7.2.1 Toma y preparación de muestras	33
7.2.2 Análisis de laboratorio - Ensayo de jarras	34
7.2.3 Análisis de laboratorio	35
7.3 Objetivo 3	38
8. Resultados y análisis	39
8.1 Objetivo 1	39
8.2 Objetivo 2	47
8.2.1 Obtención de especies vegetales	47
8.2.2 Preparación de los extractos paso a paso	47
8.2.3 Muestra inicial	53
8.2.4 Resultados moringa	55
8.2.5 Resultados nopal	62
8.2.6 Moringa VS nopal	70
8.3 Objetivo 3	73
8.3.1 Resultados turbidez para la totalidad de los coagulantes	73
8.3.2 Resultado de pH para la totalidad de los coagulantes	74
8.3.3 Parámetros de la muestra tratada para la totalidad de los coagulantes	75
8.3.4 Resultados de la totalidad de los coagulantes frente a la norma	78

9. Conclusiones.....	79
10. Recomendaciones.....	80
11. Referencias.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.Limítrofes de Bogotá. fuente: departamento de Cundinamarca.....	6
Figura 2.Ubicación de la empresa en la zona industrial de Bogotá.....	6
Figura 3.Zona localización de la empresa.....	7
Figura 4.Esquema del mecanismo de coagulación, neutralización de carga (Bohuslav Dobias, 2005).	11
Figura 5.(a) Adsorción de polímero y formación de flóculos disponibles para la unión. (b) Puente polimérico entre partículas (agregación) (Sharma et al., 2006).....	12
Figura 6. Proceso de producción.....	23
Figura 7. Organigrama de la empresa.....	24
Figura 8.Metodología dividida por colores.....	29
Figura 9. Desarrollo detallado objetivo específico 1.....	32
Figura 10.Toma de muestra del efluente industrial.....	33
Figura 11. Diagrama de metodología del objetivo dos.....	37
Figura 12. Diagrama de metodología del objetivo tres.....	38
Figura 13. Grafica comparativa de puntajes de alternativas.....	46
Figura 14. Grafica Curvas de turbidez para medio alcalino, neutro y ácido.....	56
Figura 15. Curva de pH en medio alcalino con extracto de Moringa. Fuente: Autores, 2018.....	58
Figura 16. Grafica de remoción de turbidez variando el pH. Fuente: Autores, 2018.....	59
Figura 17. Grafica porcentajes de remoción moringa. Fuente: Autores, 2018.....	61
Figura 18. Grafica curva de turbidez nopal. Fuente: Autores, 2018.....	64
Figura 19. Grafica curva de pH.....	65
Figura 20. pH optimo del nopal. Fuente: Autores, 2018.....	66
Figura 21. Porcentaje de remoción nopal. Fuente: Autores, 2018.....	68
Figura 22. Grafica comparativa de turbidez de coagulantes naturales.....	71
Figura 23. Grafica comparativa parámetros. Fuente: Autores, 2018.....	72
Figura 24. Grafica curva de turbidez de los tres coagulantes.....	74
Figura 25. Grafica curva de pH para los tres coagulantes. Fuente: Autores, 2018.....	75
Figura 26. Grafica de remoción para la totalidad de los coagulantes. Fuente: Autores, 2018.....	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen normativo.....	18
Tabla 2. Aspectos, variables e indicadores.....	26
Tabla 3. Tabla metodológica de objetivos, actividades, instrumentos, técnicas y resultados esperados.....	26
Tabla 4. División por colores según objetivo específico.....	28
Tabla 5. Puntajes para la valoración de los coagulantes naturales.....	30
Tabla 6. Metodología de asignación de puntajes.....	30
Tabla 7. Análisis de alternativas según las variables determinadas.....	30
Tabla 8. Justificación de los criterios por alternativa.....	31
Tabla 9. Parámetros iniciales de la muestra de agua residual INRUZZ SAS.....	34
Tabla 10. Proporción de volúmenes para el montaje de los ensayos de jarras.....	35
Tabla 11. Curva de turbidez.....	35
Tabla 12. curva pH.....	35
Tabla 13. Capacidad de remoción por coagulante según parámetros establecidos.....	36
Tabla 14. Datos de los parámetros y capacidad de remoción de estos según el coagulante.....	36
Tabla 15. Comparación de muestra inicial, coagulantes y normativa.....	38
Tabla 16. Criterios justificados para el análisis de alternativas.....	39
Tabla 17. Valoración numérica ya determinada para el análisis de alternativas.....	44
Tabla 18. Ilustraciones descascarado y lavado.....	48
Tabla 19. Ilustraciones secado en el horno y triturado.....	48
Tabla 20. Ilustraciones de tamizar y pesado.....	49
Tabla 21. Ilustraciones de la solución y agitador magnético.....	49
Tabla 22. Ilustraciones del coagulante.....	50
Tabla 23. Dosis coagulante de Moringa.....	50
Tabla 24. Ilustraciones de la penca y el pelado.....	51
Tabla 25. Ilustración mucilago con agua destilada.....	52
Tabla 26. Ilustraciones del filtrado y coagulante final.....	52
Tabla 27. Dosis coagulante de Nopal.....	53
Tabla 28. Parámetros iniciales efluente industria.....	53
Tabla 29. Tabla DQO a distintos pH.....	54
Tabla 30. Proporción de volúmenes para el montaje de los ensayos de jarras.....	54
Tabla 31. Curva de turbidez moringa.....	56
Tabla 32. Curva de pH moringa.....	57
Tabla 33. pH óptimo según remoción de turbidez de moringa.....	58
Tabla 34. Agua después del ensayo de jarras con la moringa.....	59
Tabla 35. Ilustración ensayo de jarras pH 11.....	61
Tabla 36. Ilustraciones ensayo de jarras pH 8.....	62
Tabla 37. Ilustraciones ensayo de jarras pH 3.....	62
Tabla 38. Curva de turbidez Nopal.....	63
Tabla 39. Curva de pH Nopal.....	65
Tabla 40. pH óptimo según remoción de turbidez de nopal.....	66
Tabla 41. Agua después del ensayo de jarras con la Nopal.....	67

Tabla 42. Ilustraciones ensayo de jarras nopal pH 11	69
Tabla 43. Ilustraciones ensayo de jarras nopal pH 8	69
Tabla 44. Ilustraciones ensayo de jarras nopal pH 3	70
Tabla 45. Comparativa curva de turbidez de los coagulantes naturales pH 3	70
Tabla 46. comparativa entre los coagulantes naturales	71
Tabla 47. Turbidez sulfato VS Moringa VS Nopal	73
Tabla 48. Curva pH para la totalidad de los coagulantes	74
Tabla 49. Porcentajes de remoción para la totalidad de los coagulantes	75
Tabla 50. Ilustraciones agua tratada con sulfato	77
Tabla 51. Ilustraciones agua tratada moringa	77
Tabla 52. Ilustraciones agua tratada nopal	78
Tabla 53. Totalidad de los coagulantes frente a la norma	78

Resumen

En el tratamiento de aguas residuales industriales, es comúnmente utilizado el sulfato de aluminio como coagulante, no obstante, dicho coagulante puede ser un potencial causante de afectación a la salud humana y a la ecología en general. En el presente trabajo de grado, son presentados los resultados de la evaluación de la capacidad de remoción de dos coagulantes naturales como posibles substitutos de un coagulante químico, en el tratamiento del efluente líquido de la empresa INRUZZ SAS; en donde se determinó por medio de un análisis de alternativas los posibles candidatos a ser evaluados, los cuales fueron la *Moringa Oleífera* y *Opuntia ficus-indica*. A partir de la selección de dichos coagulantes, se procedió a realizar una evaluación de la capacidad de remoción de contaminantes en la muestra de agua mediante ensayo de jarras en medios ácido, neutro y alcalino; y una comparación entre el desempeño de estos coagulantes. Se encontró que la Moringa fue el coagulante que más capacidad de remoción obtuvo, en medio ácido, reportando valores de 66,20% de turbidez, 25,50% para DQO, 62,50% para Color y 74,80% para SST; que posteriormente fueron contrastados con los valores de capacidad de remoción del Sulfato de aluminio y los valores máximos permisibles para efluentes industriales estipulados en la resolución 0631 del 2015. En donde, para dicha comparación, se concluyó que la Moringa Oleífera es un coagulante con capacidad de remoción relativamente cercana a la reportada por el Sulfato de Aluminio pero que no cumplía con los máximos permisibles según la normativa.

Palabras clave: Tratamiento, aguas residuales, sulfato de aluminio, *Moringa Oleífera*, *Opuntia ficus-indica*

Abstract

In the treatment of industrial wastewater, aluminum sulfate is commonly used as a coagulant; however, such coagulant may be a potential cause of human health and ecology detriment in general. In the present work of degree, are presented the results of the evaluation of the capacity of removal of two natural coagulants as possible substitutes of a chemical coagulant, in the treatment of the liquid effluent of the company INRUZZ SAS; where it was determined by means of an analysis of alternatives the possible candidates to be evaluated, which were the Moringa Oleifera and Opuntia ficus-indica. From the selection of said coagulants, an evaluation of the removal capacity of contaminants in the water sample was carried out by testing jars in acid, neutral and alkaline media; and a comparison between the performance of these coagulants. It was found that Moringa was the coagulant that obtained the most removal capacity, in an acid medium, reporting values of 66.20% turbidity, 25.50% for COD, 62.50% for Color and 74.80% for SST; which were later contrasted with the values of aluminum sulphate removal capacity and the maximum permissible values for industrial effluents stipulated in resolution 0631 of 2015. Where, for said comparison, it was concluded that Moringa Oleifera is a coagulant with the capacity to removal relatively close to that reported by the Aluminum Sulphate but that did not comply with the maximum allowable according to the regulations.

Key words: Treatment, wastewater, aluminum sulphate, Moringa Oleifera, Opuntia ficus-indica.

1. Introducción

En la actualidad, el desarrollo humano a pesar de buscar la plenitud física y mental del hombre ha producido un modelo de desarrollo devastador para el medio ambiente. Este resulta ser una de las principales causas que está ligada a la contaminación del recurso hídrico, lo que hace necesario el tratamiento del agua contaminada. Desde el inicio de la utilización de procesos que ayudaran a descontaminar el agua, se optó por la adopción de sustancias que benefician el proceso coagulación y floculación del agua, desde entonces, los agentes coagulantes más utilizados son de origen artificial o químico, entre los que se encuentran el sulfato de aluminio, cloruro férrico, el policloruro de aluminio entre otros (Osorno, 2009; Carrasquero. et. al, 2015). Estos son utilizados para la clarificación del agua debido a su alta efectividad para ayudar a la remoción de la turbidez, además de reducir

microorganismos patógenos; sin embargo, estos pueden llegar a tener consecuencias negativas a largo plazo para la salud humana por la capacidad de asimilación que posee el cuerpo humano hacia los monómeros residuales que resultan de dicho proceso. Algunas de sus consecuencias se asocian enfermedades del sistema nervioso central como el Alzheimer (Vázquez, 2004). Una concentración de aluminio superior a 0,1 mg/L en agua para consumo humano, puede ser un factor de riesgo para la demencia, especialmente para el mal de Alzheimer. Además de generar grandes cantidades de lodos que al poseer características de ecotoxicidad no son aptas para su uso como biosólidos, lo que produce un impacto negativo sobre los suelos y el agua (Carrasquero et. al, 2015).

Esta problemática, torna necesario el desarrollo de investigaciones que busquen alternativas de como tratar el agua contaminada por medio de procesos que sean aceptables para el medio ambiente. Entre las diferentes técnicas de tratamiento de aguas residuales se encuentra el uso de coagulantes-floculantes naturales, que tiene como objetivo reducir el uso de productos sintéticos que pueden llegar a ser nocivos tanto para la naturaleza como para la salud humana (Gallardo, 2017) y así remover sólidos totales suspendidos, turbidez, color y metales pesados, lo que significa una reducción en la Demanda Química de oxígeno (Osorno, 2009).

En diversos estudios actuales, se pueden encontrar tipos de especies vegetales que se han utilizado ampliamente como coagulantes naturales, entre los que se encuentran la semilla de Moringa oleífera (moringa) cuya actividad coagulante es equiparable a la obtenida del sulfato de aluminio, con la diferencia de que este coagulante natural no altera las propiedades del agua a la cual se desea aplicar dicho tratamiento; contribuyendo simultáneamente a la eliminación de turbidez, demanda química de oxígeno (DQO) y metales pesados e inclusive microorganismos no deseados en el agua (Arcila, 2016). Aparte de este existen diversos coagulantes naturales que pueden ser extraídos de semillas, este es el caso de la semilla de durazno (*prunos persica*) que posee características para la descontaminación de agua (Carrasquero et. al, 2015).

El trabajo se realizó con el agua residual de la empresa INRUZZ S.A.S el cual consto de la determinación de distintos coagulantes naturales para realizar una fase primaria de tratamiento (coagulación, floculación y sedimentación) a los vertimientos generados por dicha empresa, lo cual contribuirá en la reducción de contaminantes presentes en el efluente final. Al ser una empresa tintorera, está directamente relacionada a la industria textil, la cual presenta altos niveles de consumo de agua y de generación de vertimientos puntuales. Los problemas ecológicos que plantea esta industria se derivan de la utilización de colorantes sintéticos para sus procesos productivos y la utilización de procesos fisicoquímicos para el tratamiento del agua como la aplicación del sulfato de aluminio en altas proporciones.

Este proyecto de investigación tiene como objetivo general la evaluación de la efectividad de dos coagulantes naturales frente al coagulante químico para la remoción de carga contaminante de la empresa INRUZZ S.A.S en la ciudad de Bogotá, los cuales serán seleccionados mediante análisis comparativos en cuanto a la pertinencia de distintas alternativas de estos coagulantes de origen orgánico.

2. Presentación del problema

La industria textil es una de las ramas de la economía más importantes en Colombia, sin embargo, es una de las industrias con mayor consumo de agua y de las que genera una mayor cantidad de aguas residuales, las cuales pueden contener contaminantes de una gran variedad. Uno de estos son los colorantes, los cuales son diseñados para ser muy resistentes, incluso a la degradación microbiana, lo que genera un problema para el tratamiento de agua y provoca contaminación en los ríos. (Martínez, 2010). Esta industria es considerada como uno de los principales generadores de contaminantes de agua y desechos peligrosos puesto que en su proceso productivo incluye etapas que provocan una seria contaminación al medio ambiente.

Los principales puntos a tratar en cuanto la contaminación producida por la industria textil están centrados en el manejo de materiales peligrosos, emisiones, residuos sólidos y líquidos, consumo de energía y generación de gran cantidad de aguas residuales que contienen altos niveles de coloración. El color en el agua puede ser el primer signo de un impacto ambiental producido por este sector, esto genera una reducción en la transparencia y oxígeno disuelto en el agua, lo que la función fotosintética de las plantas. La industria textil genera efluentes con una composición muy variada, normalmente se presentan aguas a altas temperaturas, alcalinas y coloreadas, Los principales contaminantes presentes son sólidos suspendidos, aceites minerales y compuestos orgánicos, los cuales se consideran compuestos xenobióticos recalcitrantes a los procesos biodegradativos. (Kaushik, 2009). También están presentes concentraciones significativas de metales pesados, como cromo, cobre, zinc, níquel o plomo. En el proceso de fabricación de la fibra natural, el agua residual puede contener pesticidas y contaminantes microbiológicos, como bacterias, hongos y otros patógenos (DepartmentT, 2011).

El tratamiento de aguas residuales provenientes de esta industria es un problema ambiental debido a que muchos colorantes y aditivos textiles son tóxicos y no biodegradables y, como efecto son vertidos a canales y ríos. Existen diferentes tipos de tratamiento como procesos físicos, químicos y biológicos, que se pueden aplicar para la remoción de colorantes de las aguas residuales. El problema es que cada método posee limitaciones tanto técnicas como económicas, además que la utilización de un solo proceso no es suficiente para degradar en su totalidad el color y la mineralización de los compuestos (Nemerow, 1998).

Por consiguiente, se torna necesario desarrollar investigaciones que permitan avanzar cada vez más en el desarrollo de metodologías en el tratamiento de estos efluentes contaminados, que, mediante el uso de insumos de origen, preferiblemente natural, faciliten el tratamiento de estos de una forma más amigable con la ecología y por consiguiente con el ambiente del cual hace parte el ser humano. Teniendo en cuenta lo anterior, y más específicamente en el pretratamiento de aguas residuales de la industria textil, surge una oportunidad de ampliación del conocimiento para la humanidad; ¿Qué coagulante natural presenta un mayor beneficio en términos de remoción de carga contaminante en el agua residual proveniente de la producción de una industria textil, en contraste con el uso del coagulante químico de Sulfato de Aluminio?

3. Justificación de la investigación

Hoy en día, el rápido crecimiento de la industria y el actual modelo de desarrollo consumista ha encaminado a la sociedad, al actual deterioro ambiental de los servicios ecosistémicos del planeta, esto genera una necesidad de encontrar alternativas en cuanto a las problemáticas que generan los procesos de producción, así como el cambio a materiales y sustancias que ayuden a la solución de los problemas ambientales. Uno de los problemas ambientales más estudiados, es la contaminación de los recursos hídricos generados por la industria textil, curtiembres, agroindustriales, entre otras. Existen diversas técnicas que ayudan al tratamiento del agua, pero las más conocidas son los procesos de coagulación y floculación que son realizados con coagulantes químicos o naturales, que al ser agregados al agua contaminada producen una desestabilización de las partículas coloidales y producen flóculos (MarinaŚciban, 2009).

Actualmente, los coagulantes químicos son los predilectos en cuanto al tratamiento del agua contaminada, los normalmente utilizados son las sales de hierro y aluminio, un ejemplo puede ser el sulfato de aluminio que debido a su bajo costo, rendimiento y disponibilidad son de los más utilizados. Los países en vía de desarrollo como Colombia no cuentan con la facilidad económica para asumir alternativas de tratamiento de agua menos contaminantes, lo que provoca que la utilización de estos tipos de químicos sea perjudicial tanta para la salud humana como la ambiental. Esto es debido a que tienen muy baja biodegradabilidad en el suelo y agua, que generan lodos suspendidos con altos niveles de toxicidad y enfermedades en los seres humanos como el alzhéimer (Gallardo, 2017).

Por otro lado, el agua proveniente de la industria textil contiene una gran cantidad de contaminantes, lo que genera un gran impacto ambiental, además, se utiliza grandes proporciones de agua para la fabricación de prendas de ropa. según la “Environmental Justice Foundation”, se es necesario la utilización de un kilo de algodón para fabricar un par de jeans, esto implica el uso entre 10.000 y 17.000 litros de agua. De igual manera, los tintes de la industria textil también requieren un gran consumo de agua, aproximadamente 200 toneladas por una tonelada de tejido (kienyke, 2017).

Por esta razón, este proyecto de investigación es significativo puesto que al ser enfocado en la empresa tintorera INRUZZ S.A.S la cual está en un país como Colombia que presentan altos índices de contaminación y una mala economía, se hace necesario la investigación de alternativas de tratamiento de agua que sean amigables con el medio ambiente. Una de estas alternativas son los coagulantes naturales. Cabe resaltar que la biodiversidad y la calidad del suelo para cualquier tipo de cultivo que se encuentra presente en Colombia facilitarían la obtención de las materias primas, por esta razón los costos de obtención se disminuyen.

Además de esto, es preciso resaltar que la empresa tiene problemas en cuanto a la gestión ambiental empresarial como la falta de actividades para la prevención de la contaminación, aumento de la eficiencia de sus procesos y la disminución de los impactos generados al ambiente, debido a que no se les da un adecuado tratamiento a los vertimientos generados por su proceso productivo.

Para concluir, este proyecto tendrá como línea de investigación el saneamiento ecológico, debido a que se desea utilizar alternativas como los coagulantes naturales en aguas contaminadas con colorantes y la utilización de estos pueden llegar a generar un impacto positivo en el ambiente ayudando a su vez la sociedad humana y generando diferentes opciones de descontaminación de aguas que puede usar la empresa.

4. Objetivo general

Evaluar la capacidad de dos coagulantes naturales para la remoción de cargas contaminantes en el efluente final de la empresa textil INRUZZ S.A.S con respecto al coagulante comercial sulfato de aluminio.

4.1 objetivos específicos

- Determinar los dos coagulantes naturales a evaluar a través de un análisis comparativo.
- Evaluar la capacidad de remoción de carga contaminante de los coagulantes naturales seleccionados.
- Analizar comparativamente los coagulantes naturales y el químico tomando como referencia ciertos parámetros de la resolución 631 del 2015.

5. Marcos de referencia

5.1 Geográfico

El proyecto estará situado en la ciudad de Bogotá la cual está ubicada en el centro del país, en la cordillera oriental; es la capital de Colombia, cuenta con una extensión aproximada de 33 kilómetros de sur a norte y 16 kilómetros de oriente a occidente y está situada en las coordenadas Latitud Norte: 4° 35'56" y Longitud Oeste de Greenwich: 74°04'51". Se encuentra dentro de la zona de confluencia intertropical y esto produce dos épocas de lluvia; en la primera mitad del año en los meses de marzo, abril y mayo y en la segunda en los meses de septiembre, octubre y noviembre. Cuenta con una temperatura que varía dependiendo los meses del año, desde diciembre hasta marzo son altas, al contrario de abril y octubre en donde son más bajas y su altura media está en los 2.625 metros sobre el nivel del mar (Bogota, 2017).

La empresa objeto de estudio se encuentra situada en la ciudad de Bogotá que se encuentra delimitada de la siguiente forma:

- **Norte:** Chía.
- **Oriente:** Cerros Orientales y los Municipios de La Calera, Choachí, Ubaque, Chipaque, Uña y Gutiérrez.
- **Sur:** Departamentos del Meta y Huila
- **Occidente:** Río Bogotá y Municipios de Cabrera, Venecia, San Bernardo, Arbeláez, Pasca, Sibate, Soacha, Mosquera, Funza y Cota (Bogota, 2017).



Figura 1..Límitrofes de Bogotá. fuente: departamento de Cundinamarca

La empresa de nombre INRUZZ S.A.S se puede encontrar en la Cra. 32a # 69-8 en el barrio de Pensilvania como se puede observar en la figura 2. De acuerdo con esta ubicación, la empresa se encuentra localizada en un sector industrial.

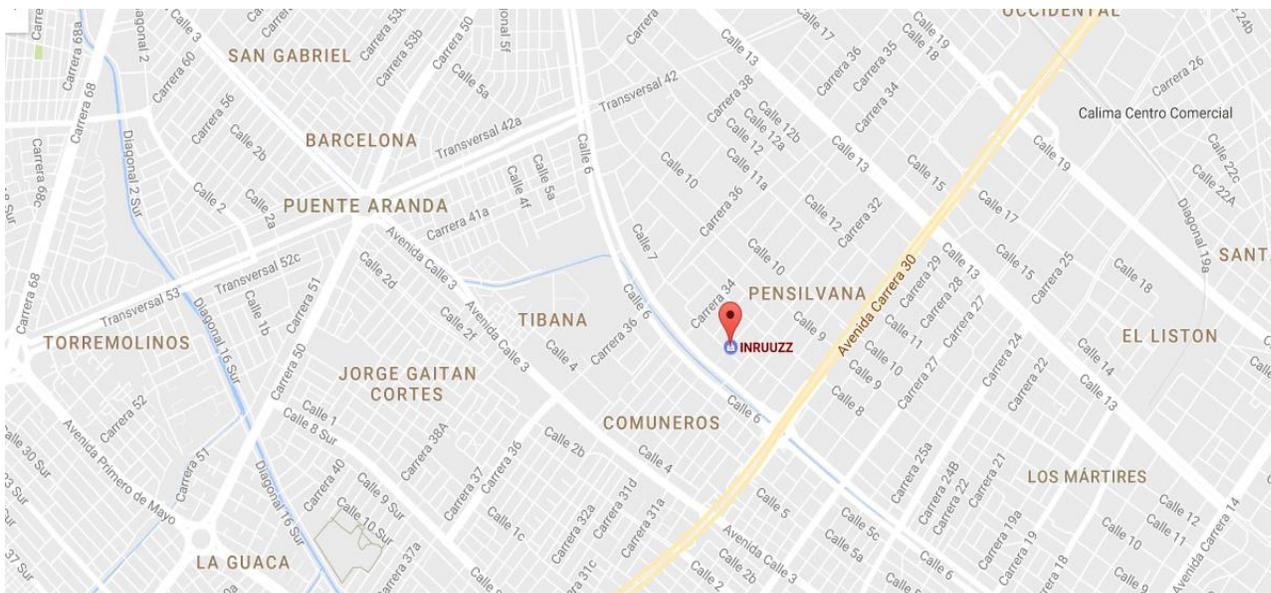


Figura 2.Ubicación de la empresa en la zona industrial de Bogotá

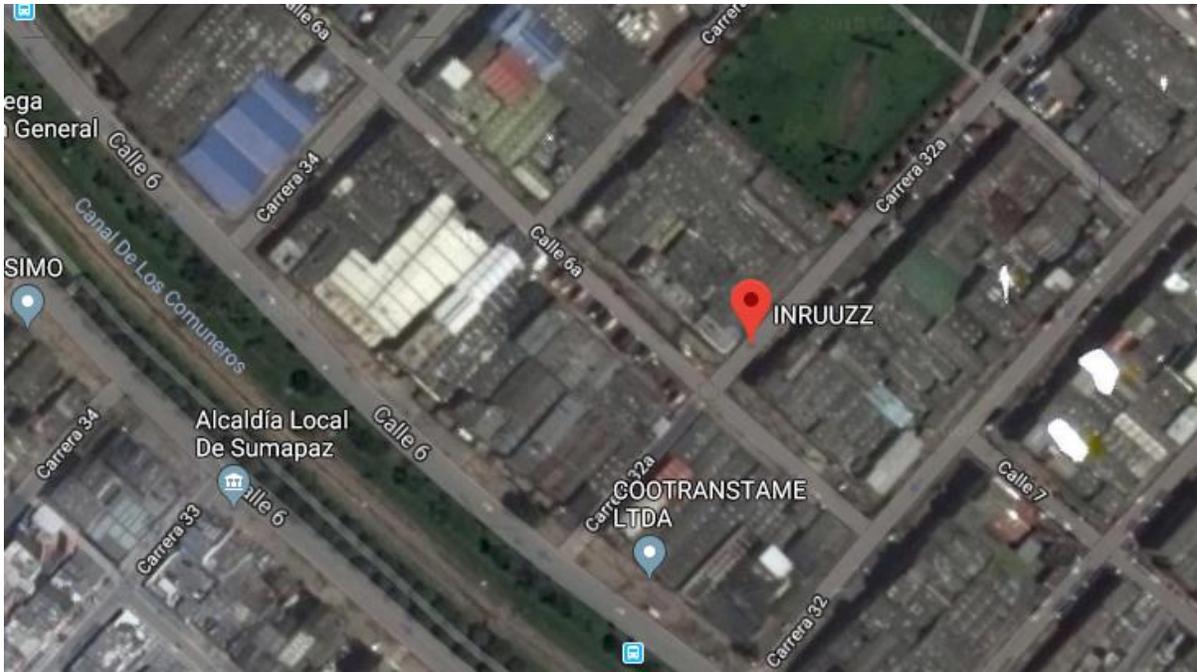


Figura 3. Zona localización de la empresa

5.2 Estado del arte

El actual deterioro ambiental producido por los vertimientos de la industria deja como resultado un problema en la calidad del agua. Debido a esto se hace necesario realizar un tratamiento y saneamiento del agua residual, esto con el fin de eliminar o reducir su carga contaminante.

Frente a la problemática. Existe el método fisicoquímico de coagulación-floculación que dada a su simplicidad y efectividad es una de las técnicas más adoptadas para restaurar la potabilidad y mejorar la apariencia estética del agua. Para ello se utilizan los coagulantes químicos, que pese a su eficiencia pueden generar afectaciones a la salud (Choy, 2014). Con el objetivo de tratar el agua previniendo o minimizando el riesgo a la salud humana, se han hecho investigaciones acerca de diferentes procesos para el tratamiento del recurso hídrico como, por ejemplo, la utilización de distintos productos naturales que funcionan como coagulantes en el tratamiento del agua.

Una de estas investigaciones fue realizada por Rodríguez et. al (2005) que fue publicada en la revista CENIC en La Habana, Cuba. se investigó acerca de la implementación de un producto coagulante natural para clarificar agua y se plantea la utilización de la semilla moringa oleífera debido a que es un coagulante que ofrece mejores resultados según otros estudios a nivel mundial. Luego de determinar el coagulante natural que iban a utilizar, se dispusieron a recolectar muestras de agua del río arroyo Arenas ubicado en el municipio La Lisa y se preparó la semilla con una concentración de 1%, por medio de un ensayo de jarras y la ayuda del programa Statgraphics Plus versión 5.0, para lograr Turbiedad, Color mínimo, manteniendo el pH, la Alcalinidad y Dureza total dentro del rango establecido por la Norma Cubana vigente en el país. Luego de los resultados obtenidos, se concluyó que dependiendo de la naturaleza del agua varía la dosis óptima del coagulante, que en este caso es de

89,5 mg/L con un tiempo óptimo de agitación rápida es de dos minutos. Finalmente se estableció que la dureza total, la alcalinidad total y el pH no varían significativamente (Rodríguez, 2005).

Aparte de esta investigación, existen diversas publicaciones alrededor del mundo acerca de la utilización de productos naturales para el tratamiento del agua, según (Aguirre, 2018) que realizó un estudio acerca de sustancias naturales como alternativa para el tratamiento del agua del Río Magdalena en Palermo (Colombia) y determinó la capacidad de purificación de sustancias naturales como la Moringa, Cactus, Neem y el Maíz, por medio del ensayo de jarras, se establecieron las dosis óptimas de coagulante, tiempo y velocidad de floculación. La experimentación arrojó como resultados que la Moringa redujo la turbidez en 96.8% y el color en 97.8%. Por otro lado, el tratamiento con Neem disminuyó 99.4% de los coliformes totales y 99.2% de los coliformes fecales mientras que el Maíz, redujo 94.4% de los coliformes totales. Como conclusión se determinó que el uso de coagulantes naturales para el tratamiento del agua del río Magdalena era una alternativa asequible y sostenible (Aguirre, 2018).

Luego de determinar que los coagulantes naturales son capaces de lograr un tratamiento del recurso hídrico adecuado, por su capacidad de coagulación-floculación de hacer que las partículas en el agua se junten y así precipitar rápidamente, se han realizado estudios comparativos con productos químicos como el sulfato de aluminio el cual es un producto predilecto para el proceso de coagulación.

De acuerdo con un estudio realizado por (Lédo, 2009) en Brasil en el año 2009, el cual comparaba la eficiencia del Sulfato de Aluminio y Semillas de *Moringa oleífera* para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad, por medio de parámetros fisicoquímicos, el estudio empezó tomando Todas las muestras del canal de entrada del agua sin tratar de la Estación de tratamiento de agua del Jiqui, la cual toma agua proveniente del Río Grande do Norte, se procedió a preparar el coagulante natural pelando y seleccionando la semilla manualmente para luego mezclarlas con agua destilada en proporción de 25 g por litro la cual se licuó por 15 minutos y se filtró en un papel filtro. a partir de la obtención de resultados y una comparación entre las dos efectividades concluyeron que la eficiencia de la semilla de moringa oleífera es ligeramente inferior a la observada con el sulfato de aluminio y que están pueden ser comparadas en efectividad para la depuración de agua con baja turbiedad (Lédo, 2009).

Otra investigación que evaluó la efectividad del coagulante natural y del químico fue la publicada por (Olivero, 2014). En este trabajo se determinaron las propiedades que tiene la tuna opuntia ficus-indica y el sulfato de aluminio en la clarificación de las aguas del río Magdalena en Magangué (Colombia). Los ensayos que se realizaron fueron a escala de laboratorio, aplicando la prueba de jarras y se midieron los parámetros físico-químicos de turbidez y pH. Luego de finalizada la experimentación se logró demostrar que el mucilago extraído de la tuna opuntia ficus-indica sirve como coagulante natural en el propósito de clarificar aguas crudas del río Magdalena del municipio de Magangué, logrando reducir la turbidez hasta en un 83.66%. Sin embargo, el sulfato de aluminio mostro una mayor efectividad. (Olivero, 2014).

Como se mencionó anteriormente, la industria juega un papel importante en cuanto la calidad del agua. Una que genera un impacto negativo al ambiente y en particular al recurso hídrico en la industria textil. Esta ha generado indudablemente un impacto ambiental significativo en los recursos naturales de nuestro planeta. Lo que puede llegar a provocar carencias en la provisión de agua para consumo humano debido a la contaminación de fuentes hídricas. Debido a esto surgió la necesidad de encontrar alternativas como el uso de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas contaminadas provenientes de esta industria.

En cuanto la utilización de coagulantes naturales en la industria textil, según (GUZMÁN, 2017) que realizo un trabajo de investigación que tuvo la finalidad de evaluar y comparar la capacidad floculante y coagulante del mucilago tanto de la penca de la *Opuntia ficus indica* (tuna) como el mucilago de la hoja de la *Aloe vera* (sábila) y la mezcla de ambos mucílagos, para el tratamiento de los efluentes textiles pertenecientes a la empresa Franky y Ricky S.A. Se evaluaron parámetros como conductividad, pH, Sólidos totales, Sólidos sedimentables, Sólidos disueltos, turbidez Obteniendo resultados positivos para el tratamiento a partir de mucilago de la penca de tuna, pero al emplear el mucílagos de sábila se obtuvieron resultados negativos. Como conclusión se determinó como alternativa natural efectiva el mucílagos de tuna a una concentración de 500g/200ml en una dosis de 10 ml, pero está siendo menor a la efectividad de los coagulantes-floculantes químicos (GUZMÁN, 2017)

5.3 Teórico-conceptual

5.3.1 Generalidades

El agua natural contiene ciertas impurezas producto del ciclo hidrológico por el cual esta ha tenido que pasar. Esta arriba a la industria con ciertas características, que dependiendo del lugar de origen de donde se tomaron, bien sea a partir de una red de suministro que previamente ha modificado la composición del agua; o sino a partir de una captación de forma independiente. Cuando las impurezas identificadas en el agua representan elementos que pueden llegar a ser nocivos, para el uso destinado; se pueden considerar como contaminantes (Lapeña, 1990).

El sector industrial es de los que más demanda recurso hídrico y a su vez el que más lo contamina. Para garantizar la disponibilidad a largo plazo del recurso, se torna necesario emplear métodos de tratamiento adecuados para los efluentes industriales teniendo en cuenta que Colombia presenta como un importante problema ecológico, después de la erosión del suelo y la deforestación, la contaminación de este recurso. (Álvarez, et al., 2001). Y a su vez, el crecimiento continuo de la industrialización, la agricultura y la urbanización están involucrados en la disminución y la contaminación de los recursos hídricos en todo el mundo (Wu et al., 2013).

Lo anterior, debido a que en la industria se generan agentes que pueden llegar a ser contaminantes y sus efluentes están sujetos a ciertos parámetros mínimos con la finalidad de mitigar la perturbación ecológica del medio receptor de dicho de la descarga final (Rigola Lapeña, 1990). Por ende, en la depuración de aguas residuales industriales, es común someter a estas a un tratamiento físico-químico previo a su descarga final. La operación unitaria más empleada es el tratamiento por coagulación-floculación. La eficacia con la cual se ejecutan operaciones de tratamiento de estas aguas, posteriores a dicho tratamiento físico-químico, depende del éxito con el cual este se lleve a cabo (Aguilar, Sáez, Lloréns, Soler, & Ortuño, 2002). Para optimizar este proceso es necesario realizar ensayos de jarras más conocidos como “jar test” en laboratorio con el fin de determinar, el tiempo en que se debe mezclar el coagulante, la dosis, la concentración y en general las condiciones óptimas a las cuales el coagulante debe trabajar.

5.3.2 Coagulación

En cuanto al método de coagulación en la depuración del agua, se encuentra que es entendida como la adición de sustancias químicas y la provisión de mezcla; para que las partículas y algunos contaminantes disueltos se conglomeren en partículas más grandes que posteriormente son extraídas del agua mediante procesos de remoción de sólidos (Newcomen, 2007). Se han desarrollado investigaciones acerca de la coagulación y el empleo de nuevas alternativas de agentes coagulantes tanto de origen orgánico e inorgánico, con la finalidad de obtener, de manera paulatina, una eliminación óptima de la materia orgánica y los sólidos en suspensión totales (Aguilar, 2002) y por ende reducir factores como la turbidez, el color y en menor medida las bacterias (García, 2005). Dichos sólidos en suspensión son conocidos también como partículas coloidales que son sistemas formados por una fase líquida y otra dispersa en forma de partículas generalmente sólidas y deben removerse del agua mediante dicho mecanismo de coagulación (Alarcón, 2016).

5.3.3 Mecanismos de coagulación

La interacción de diferentes tipos de agentes coagulantes con las partículas coloidales presentes en el agua, se han llevado a cabo mediante los principales mecanismos de coagulación y floculación, como la neutralización de carga, la formación de puentes, parche electrostático y de barrido (Bohuslav Dobias, 2005). A partir de dosis óptimas de agente coagulante en muestras de aguas residuales, este hace contacto con las partículas coloidales suspendidas, por adsorción, mediante interacciones electrostáticas, enlaces de hidrógeno, fuerzas de van der Waals, etc. Lo cual conduce a la desestabilización de dichos coloides y suspensiones; y posteriormente conlleva a un reordenamiento de la conformación del polímero adsorbido de tal manera que las partículas en suspensión adsorbidas se agregan para formar grandes flóculos que a continuación se establecen de manera efectiva (Bolto y Gregory, 2007, Renault et al., 2009, Chang, 2009).

Los siguientes son los mecanismos por los cuales los coadyuvantes en el proceso de coagulación de partículas coloidales trabajan a nivel físico-químico.

5.3.4 Neutralización de carga

Generalmente, este mecanismo es llevado a cabo cuando el agente coagulante y las partículas coloidales son de carga opuesta; lo cual permite que dichas partículas puedan ser desestabilizadas (Bravo, 2017) como se observa en la Figura 4.

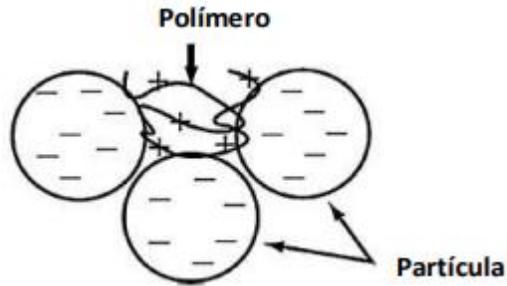


Figura 4. Esquema del mecanismo de coagulación, neutralización de carga (Bohuslav Dobias, 2005).

Las partículas coloidales poseen carga negativa en sus superficies, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide (SEDAPAL, 2000).

A su vez, la coagulación es resultado de la disminución de la carga superficial de las partículas coloidales y, por ende, una fuerza de repulsión eléctrica menor entre estas. Lo que permite la formación de flóculos con mayor facilidad pues las dispersiones de estas partículas tendrían mayor fuerza de atracción (Bravo, 2017).

5.3.5 Puente de polímero

Este mecanismo se produce generalmente con agentes coagulantes de cadena larga con alto peso molecular y baja densidad de carga. Los grupos químicos de los polímeros naturales pueden interaccionar con los sitios de la superficie de las partículas coloidales. Los polímeros se adsorben sobre las partículas de los contaminantes, polímero-partícula, creando así un puente entre estas como se muestra en la Figura 5b. (Sharma et al., 2006).

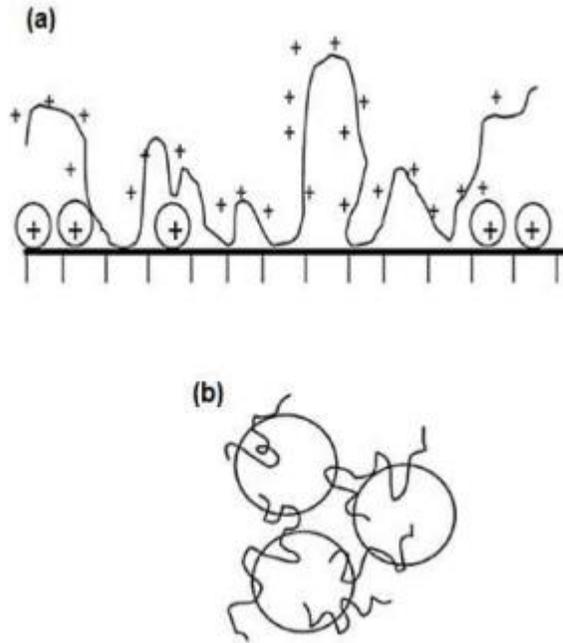


Figura 5.(a) Adsorción de polímero y formación de flóculos disponibles para la unión. (b) Puente polimérico entre partículas (agregación) (Sharma et al., 2006).

5.3.6 Parche electrostático

Este mecanismo, también conocido como el modelo de parche, comprende una distribución desigual de las cargas resultantes debido a la adsorción de parches discretos de polímeros en la superficie. Al verse reducida la carga negativa en las partículas se reduce de igual manera la repulsión interna de partículas. Este efecto es denominado neutralización de carga y se encuentra asociado con la reducción de la movilidad electroforética (Sharma et al., 2006).

En adición, las áreas de adsorción de polímeros son capaces de tener una carga positiva debido a la alta densidad de carga del polímero. Las regiones positivas en otras partículas también son atraídas a las regiones negativas de otras partículas, lo que se denomina como heterocoagulación (Sharma et al., 2006).

5.3.7 Coagulante químico

Son coadyuvantes para dicho mecanismo de depuración de impurezas en el agua, de sustancias inorgánicas, que propician un efecto desestabilizador en los coloides presentes en el agua mediante la superación de las fuerzas, que mantienen la estabilidad de dichas partículas (Aguilar, 2002). La aplicación de este mecanismo de tratamiento de aguas residuales, incluye en su ejecución la adición de este tipo de coagulantes que son los más utilizados para el tratamiento de aguas residuales, debido a su rendimiento, disponibilidad, costo y efectividad; sin embargo, existen desventajas asociadas al uso de estos coagulantes, como altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo

y el hecho que afectan significativamente el pH del agua tratada (Haarof & Cleasby, 1998; Yin, C. 2010; Shak & Wu, 2014).

Entre los coagulantes químicos, también denominados coagulantes metálicos, que constan principalmente de dos grandes categorías: los basados en Aluminio y los basados en Hierro. Entre los coagulantes basados en Aluminio, se encuentran algunos como sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, aluminato de sodio, clorhidrato de aluminio, policloruro de aluminio, sulfato de cloruro de polialuminio, silicato de cloruro de polialuminio, formas de cloruro de polialuminio con polímeros inorgánicos. De los cuales es el Sulfato de Aluminio el más usado a nivel general en lo que respecta al tratamiento de aguas en cuanto a la reducción de dispersiones coloidales (Bratby, 2006).

5.3.8 Polímeros orgánicos sintéticos

Estos son polímeros solubles en agua que están basados en unidades repetidas de varios monómeros tales como acrilamida y ácido acrílico. En la mayoría de los casos, se derivan de transformaciones químicas de materias primas derivadas de petróleo y no renovables, cuyo monómero básico es la acrilamida en la mayoría de éstos. (Suopajarvi et al., 2013; Arboleda, V. p.49).

Generalmente, los polímeros sintéticos se clasifican en catiónico, aniónico, anfótero y no iónico. La capacidad coagulante es principalmente influenciada por parámetros como la naturaleza de las cargas, seguida por el peso molecular y la densidad de carga (Bolto y Gregory, 2007). Sin embargo, para este tipo de coagulantes, se ha reportado que posee sustancias neurotóxicas y efectos carcinogénicos; que junto a los monómeros químicos que no reaccionaron y subproductos de polímeros residuales en el agua, amenazan la salud humana (Bratby, 2006).

5.3.9 Coagulante de origen natural

Los agentes coagulantes naturales son sustancias solubles en agua, procedentes de materiales de origen vegetal o animal que actúan de modo similar a los coagulantes y desinfectantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial de esta. Algunos coagulantes poseen además propiedades antimicrobianas, por lo que reducen o eliminan el contenido de microorganismos patógenos susceptibles de producir enfermedades (García, 2007).

El uso de estos coagulantes, en la depuración del agua residual data de varios milenios atrás y, continuamente se hacen estudios que permiten identificar la potencialidad de distintas plantas para este propósito, y que permitan disminuir el uso de sustancias químicas sintéticas, así como la producción de lodos biodegradables. Estos coagulantes son biodegradables y económicos en países en desarrollo, ya que pueden ser cultivados localmente y tienen una gama amplia y eficaz de dosificación para la desestabilización de diversas suspensiones coloidales (Sanghi et al., 2006).

En contraste con los coagulantes químicos, los de origen natural son seguros (Asrafuzzaman et al., 2011), eco-amigables y generalmente libre de tóxicos (Bratby, 2006; Swati and Govindan, 2005); producen menos volumen de lodos, generando cantidades que van entre el 20-30 %, mucho menores a las generadas por el empleo de agentes coagulantes metálicos, como el alumbre (Sciban et al, 2009).

Simultáneamente, estos pueden tener rendimientos iguales o incluso superiores a los de origen sintético, además tienen un valor agregado relacionado con las características de biodegradabilidad -mencionada anteriormente- que lo convierten en una alternativa viable desde el punto de vista ambiental y algunos de los coagulantes de origen natural son almidones y polisacáridos naturales, tales como la celulosa, y el quitosano (Nieto y Orellana, 2011).

Entre el grupo de sustancias conocidas que poseen estas propiedades aglomerantes se encuentran algunos compuestos orgánicos de origen vegetal, los cuales pueden obtenerse del tallo o las semillas de una enorme variedad plantas como la moringa oleífera, la Tuna, el frijol, maíz entre otros. Tienen alta efectividad para aguas con una baja turbidez, también presentan buena eficiencia en aguas industriales (García & González, 2012).

5.3.10 Coagulante de *Moringa oleífera*

La M. Oleífera es un árbol tropical perteneciente a la familia Moringaceae. Es originario del noroeste de la India, y es conocido en Brasil como Quiabo de quina y Lirio blanco (Lopes y Silva, 2004). Se ha encontrado que el componente activo de la semilla de M. oleífera que causa la coagulación del agua cruda turbia es una proteína soluble que actúa en el proceso como un polielectrolito catiónico natural (Barth et al., 1982; Jahn, 1989). Diversos estudios han demostrado que la actividad coagulante de las semillas de Moringa es comparable con la obtenida por el uso de sulfato de aluminio (Ridwan et al, 2011).

5.3.11 Coagulante de *Nopal (Opuntia ficus indica)*

Son plantas arborescentes, arbustivas o rastreras, con forma simple o de matorrales. Poseen un tronco leñoso muy definido, con ramificaciones esparcidas o en forma de copa, con tallos y ramas articuladas. Pueden llegar a medir hasta 5 m de alto. Sus partes oblongas llamadas pencas alcanzan los 30 a 50 cm de ancho y 2 cm de espesor, son de color verde opaco. Algunas tienen espinas, cortas, estas son débiles, blancas o amarillas. Poseen flores y frutos, ovalados de color rojo, naranja o amarillo (Rafael Enrique Olivero Verbel, 2014).

En base seca, contiene alrededor del 15.48% de proteínas, además de carbohidratos, cenizas y una gran humedad. Tiene baja acidez. En la pulpa hay alto contenido de azúcares. Por lo general, los azúcares presentes son considerados reductores, predomina la glucosa (60%) y la fructosa (40%).

5.3.12 Coagulante de *Tamarindo*

Tamarindus indica L. es un árbol de gran tamaño, normalmente verde y de larga vida, originario de los trópicos del Viejo Mundo. Se conoce comúnmente como tamarindo, ha este árbol ha sido plantado y naturalizado extensamente en las regiones tropicales y subtropicales, incluyendo la región del Caribe, la América Central y el norte de la América del Sur (López & Campos, 2011).

Las semillas de Tamarindo (*Tamarindus indica*), se compone en su mayoría por carbohidratos (57,1%), proteína (13,3%) y agua (11,3%). Su fracción proteica está conformada por ácidos glutámico y aspártico, glicina y leucina (López & Campos, 2011) y es una planta que reporta múltiples usos como remedio natural para varias afecciones al ser humano en la medicina tradicional, cemento para el uso de madera, estabilización de alimentos procesados, entre otros usos, de los cuales se encuentra su uso como coagulante en el tratamiento de agua cruda. Estudios reportan la efectividad de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) en aguas con alta turbidez proveniente de un acueducto en donde se reportaron porcentajes positivos de remoción de turbidez y de color (Como se cita en Arcila & Peralta, 2016).

Su método de extracción tiene en cuenta aspectos como la temperatura del agua de despulpado, condiciones de molienda en la trituración de la semilla, condiciones de secado y por último el tamaño de la partícula a utilizar como coagulante. En lo que respecta a la remoción de DQO, podría sustituir a los coagulantes tradicionales (López & Campos, 2011)

5.3.13 Coagulante de quitosano

El quitosano es un biopolímero, distribuido ampliamente en la naturaleza, especialmente entre los invertebrados de mar, insectos, hongos y levaduras. Es derivado del desacetilado, este es un polímero lineal catiónico de alto peso molecular, soluble en soluciones acídicas. También es biodegradable, no es tóxico, y ha sido usado en la coagulación de sólidos suspendidos por los residuos generados en el procesamiento de alimentos (Como se cita en Huang, Chen & Ruhsing Pan, 2000). Estudios han demostrado que el quitosano puede ser utilizado como un potente coagulante en el tratamiento de aguas superficiales (Huang, Chen & Ruhsing Pan, 2000).

La extracción del quitosano se realiza mediante la sintetización, en laboratorio, por desacetilación alcalina de la quitina. A manera general, la quitina aislada del cascarón de cangrejo se pulveriza y posteriormente es sintetizada en el laboratorio por desacetilación, con reactivos, a altas temperaturas. Este debe ser lavado con abundante agua destilada y puesta al secado en horno, a altas temperaturas. Posteriormente este se debe disolver en diferentes ácidos de distintas concentraciones y mezclado a la vez para obtener el coagulante (Yang, Li, Huang, Yang & Li, 2016; Huang, Chen & Ruhsing Pan, 2000)

5.3.14 Coagulante de pectina de Naranja

La naranja (*Citrus sinensis*) es originaria de China y Birmania. Es un fruto redondo, de color anaranjado, el cual está compuesto por tres estructuras principales que son: el flavedo (epicarpio), albedo y endocarpio. Su cascara (epicarpio) es el residuo que resulta después de la extracción de la pulpa con diferentes fines alimenticios. Representa aproximadamente entre el 15 a 25% del peso total

del fruto y ha sido utilizada principalmente en la extracción de aceites esenciales, bioetanol, entre otros (Como se cita en Buenaño, B., 2017).

Entre sus componentes se encuentra la pectina, la cual es un polisacárido de gran peso molecular proveniente de las partes blancas o albedo de los frutos cítricos (cita de art.) como la Naranja para este caso. Estudios realizados sugieren que este polisacárido proveniente de los cítricos es un coagulante natural que establece una eficiencia similar a la de los coagulantes químicos (Como se cita en Rodríguez, K., Henríquez, R. & Manrique, A., 2004)

Entre sus métodos de extracción se encuentra la precipitación por acetona, precipitación con sales metálicas (sulfato de cobre y alumbre); y precipitación por alcohol etílico (Como se cita en Rodríguez, K., Henríquez, R. & Manrique, A., 2004). La metodología de extracción, de este biopolímero, propuesta por Grunauer & Cornejo (2009) consiste en aplicar un lavado y separado manual de la corteza, pulpa y semillas provenientes del fruto, los cuales son triturados; colocando la cascara recuperada, ya desmenuzada, en un recipiente con agua a una temperatura específica con el fin de inactivar enzimas que producen reacciones químicas que pueden llegar a inhibir la actividad coagulante. Así como también la poligalacturonasa, para llegar a un monómero llamado galacturónico; el cual se filtra y se enfría a fin de retener sólidos.

A partir del sólido retenido se extrae la pectina, en presencia de ácidos en caliente, para disociar la protopectina a pectina soluble. Y, por último, tras una serie de procesos de adición de componentes químicos para ajustar pH, se expone a una fuente de calor para posteriormente filtrar y obtener finalmente el coágulo formado.

5.3.15 Coagulante de Durazno

Las semillas se lavaron con abundante agua para separar con mayor facilidad los restos de pulpa adheridos. Se procedió a la extracción de los cotiledones (“almendras”) de las semillas, rompiendo la testa o cubierta seminal con ayuda de un martillo. Los cotiledones se molieron en un molino eléctrico (ThomasWiley model 4) hasta obtener una harina blanca amarillenta, de aspecto grasoso y de olor característico. La harina se tamizó de manera manual por el cedazo N°60 (0,250 mm de diámetro de poro) y se almacenó en frascos de color ámbar para su posterior caracterización, desgrasado y uso (Carrasquero et al., 2015).

En la metodología propuesta por Carrasquero et al. (2015) las semillas previamente trituradas, se secan en una estufa a 60°C, para evitar la desnaturalización de las proteínas. Para posteriormente preparar una solución del coagulante disolviendo las semillas molidas, tamizadas y secas en agua destilada hervida; obteniendo así el coagulante.

5.3.16 Agua industria textil

Las descargas industriales textiles se caracterizan por tener una alta Demanda Química de Oxígeno, baja biodegradabilidad, alto contenido de sal y coloración intensa y apreciable a simple vista también presentan pH extremo y agotamiento del oxígeno disuelto. La descarga de este tipo de aguas sin adecuado tratamiento provoca muerte de las bacterias aeróbicas y perturbación general del ecosistema acuático (Arango & Ortega, s. f.) En el proceso de elaboración de productos textiles

En la industria textil se presenta un gran número de operaciones unitarias retroalimentadas que utilizan diversas materias primas, como algodón, lana, fibras sintéticas, o mezclas de ellas y el impacto ambiental de dichos efluentes líquidos, es bastante relativo, pues la gran variedad de reactivos y materias primas utilizadas pueden cambiar según los métodos de producción empleados (Giraldo, et. al., 2005).

5.3.17 *Sólidos suspendidos totales (SST)*

Estos hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual. (CAN, 2005); Se define como sólidos la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103 °C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos). Para su determinación, la muestra se evapora en una cazuela pesada con anterioridad, preferiblemente de platino, sobre un baño de María, y luego se seca a 103 -105 oc. El incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos totales o residuo total (Romero, 2002).

5.3.18 *Turbidez*

La turbiedad es el nivel de opacidad del agua, cuando es sometida en el turbidímetro y se mide en NTU Unidades nefelométricas de turbiedad, son las unidades en que se expresa la turbiedad cuando ha sido determinada por el método nefelométrico. Es de aclarar que la opacidad del agua es debida a los coloides presentes (EPA U.S. Environmental Protection Agency, 2005).

5.3.19 *Color*

El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el Al^{+++} o el Fe^{+++} . La determinación de

Dos tipos de color se reconocen en el agua: el color verdadero, o sea el color de la muestra una vez que se ha removido su turbidez, y el color aparente, que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales si no también el color debido al material suspendido. El color aparente se determina sobre la muestra original, sin filtración o centrifugación previa (Romero, 2002).

5.3.20 *DQO*

La demanda química de oxígeno es un parámetro analítico de polución que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química. La determinación de DQO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte (Romero, 2002; APHA, AWWA & WPCF, 2005).

5.3.21 *Conductividad*

La conductividad es la expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Dicha capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de

su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición (APHA, AWWA & WPCF, 2005).

5.3.22 pH

El término pH es una forma de expresar la concentración del ion hidrógeno o, más exactamente, la actividad del ion hidrógeno.

En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto haga referencia a factores químicos como la alcalinidad total o la acidez total. En el suministro de aguas es un factor que debe considerarse con respecto a la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento y el control de corrosión (Romero, 2002).

5.4 Normativo

Tabla 1. Resumen normativo

Norma	Tema general	Relación con el trabajo
CONSTITUCIÓN POLÍTICA COLOMBIA 1991	DE En la constitución se incluyen temas de vital importancia para el país, como la salud publica ambiente y territorio	Artículo 49. Trata acerca de la atención de la salud, el saneamiento ambiental y de la vigilancia y control que se debe realizar. Esto se relaciona al trabajo ya que se va a realizar un tratamiento de agua contaminada con colorantes y lograr una mayor calidad de agua en el vertimiento final de la empresa.
		Artículo 79. Este articulo tiene relación con que todas las personas tienen derecho a un ambiente sano y de proteger la integridad del ambiente y se puede relacionar al trabajo por contaminación presente y continua que genera la empresa y del tratamiento que se le desea realizar
		Artículo 366. Tiene relación con el bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida y dar solución a los diversos problemas que se

		<p> puedan presentar como los que ocurren en el saneamiento ambiental y al agua potable y al realizar el proyecto se mejorara la calidad del agua vertida y por ende ayudara al ambiente</p>
Ley 373 de 1997	<p>En esta ley se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.</p>	<p>Artículo 5. Trata temas del reusó del agua que son utilizadas en actividades que generen afluentes hídricos deberán ser reutilizadas en actividades primarias o secundarias, al terminar el tratamiento con los coagulantes naturales, las características de dicha agua podrían ser las adecuadas para su reusó o dar pie para otros proyectos que traten el tema de la reutilización del agua proveniente de la industria textil.</p>
		<p>Artículo 17. Habla acerca de las sanciones establecidas por el artículo 85 de esta Ley a los usuarios que desperdicien el agua en los que se incluyen los gerentes o directores o Representantes Legales y nosotros al utilizar el método de los coagulantes naturales y de su posible reutilización se podría evitar este tipo de sanciones</p>
Decreto 3930 de 2010 Nivel Nacional	<p>Se centra en los usos del agua, residuos líquidos y se dictan otras disposiciones para estas.</p>	<p>Artículo 28. Fijación de la norma de vertimiento. El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial fijará los parámetros y los límites máximos permisibles de los vertimientos a las aguas superficiales, marinas, a los sistemas de alcantarillado público y al suelo. Ya que la</p>

		<p>empresa realiza sus vertimientos al sistema de alcantarillado público, el trabajo se puede basar en los parámetros de calidad de agua estipulados para tomarlo como rango al cual se debe llegar con los coagulantes naturales.</p>
		<p>Artículo 34. Protocolo para el monitoreo de los Vertimientos en Aguas Superficiales y Subterráneas, en el cual se establecerán, entre otros aspectos: el punto de control, la infraestructura técnica mínima requerida, la metodología para la toma de muestras y los métodos de análisis para los parámetros a determinar en vertimientos y en los cuerpos de agua. Tiene relación debido a que con el proyecto se va a realizar una metodología para el tratamiento del agua y un análisis del agua pre y post tratamiento.</p>
<p>RESOLUCIÓN 1596 DE 2001</p>	<p>Contiene la tabla de estándares máximos permisibles para verter a la red de alcantarillado público y/o a un cuerpo de agua, en la cual se estableció que el máximo permisible para el parámetro tensoactivos y se determinó que 20(mg/l) corresponde al máximo permisible para el parámetro tensoactivos (SAAM), como rango óptimo para verter en la red matriz de alcantarillado público y/o cuerpos de agua.</p>	<p>El trabajo se realizará en una empresa de colorantes de la industria textil, en donde se emplean los tensoactivos que se utilizan el proceso de desengrasado de una prenda.</p>
<p>RESOLUCIÓN 3956 DE 2009</p>	<p>Se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados al</p>	<p>Artículo 1. Norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos</p>

	recurso hídrico en el Distrito Capital	realizados al recurso hídrico en el perímetro urbano en Bogotá D.C., al tiempo que fija los índices, factores, concentraciones o estándares máximos para su vertido. La empresa al estar situada dentro de la ciudad de Bogotá D.C se rige por los parámetros establecidos en esta resolución.
		<p>Artículo 5. Permiso de vertimiento. Todo Usuario que genere vertimientos de aguas residuales al recurso hídrico superficial dentro del perímetro urbano de Bogotá incluidos los vertimientos no puntuales, deberá realizar la autodeclaración, tramitar y obtener el permiso de vertimientos ante la autoridad ambiental. Se relaciona puesto que al tratar el agua y dejar un proceso del coagulante natural la obtención de los permisos será más fácil de adquirir.</p>
RESOLUCIÓN 1207 DE 2014	De los usos establecidos para agua residual tratada	Habla acerca de los posibles usos que se le podría dar al agua luego del tratamiento y se relaciona porque al finalizar con el agua tratada se darán recomendación acerca de los posibles usos que se le pueda dar al agua.
RESOLUCIÓN 631 DE 2015	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.	<p>Artículo 5. Para todas las actividades industriales, que realicen vertimientos puntuales de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado público tendrán en el parámetro de temperatura como valor límite máximo</p>

		<p>permisible el de 40,00 °C. ya que se tomara una muestra directa del vertimiento se medirá la temperatura del efluente.</p>
		<p>Artículo 13. Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de las actividades industriales puesto que en el proyecto cuenta con análisis de laboratorio se hace necesario los parámetros regidos por la norma para determinar si son eficaces, se puede observar los límites en (ANEXO 1) (ANEXO 2).</p>

Fuente: Autores, 2018

5.5 Institucional

La investigación estará enfocada en la empresa INRUZZ, es una empresa dedicada a la tintorería de blue jeans, con una capacidad de producción de 45.000 prendas mensuales con 23 toneladas de material. Contando que cada jean producido pesa 500 gramos.

La empresa se encarga de los procesos de teñido de jeans. Un jean pesa 500 gramos aproximadamente. Como se observa en la figura 3. la empresa cuenta con 3 máquinas teñidoras o lavadoras, las cuales tienen una capacidad de producción de 260 piezas (130 kilos) para la primera, para la segunda 120 piezas (60 kilos) y para la tercera 100 piezas (50 kilos). También cuenta con dos máquinas secadoras grandes de la misma capacidad.

En cuanto al centrifugado se tiene una centrífuga que puede centrifugar cada 5 minutos 180 prendas y tienen un consumo de agua al mes de 100 m³.

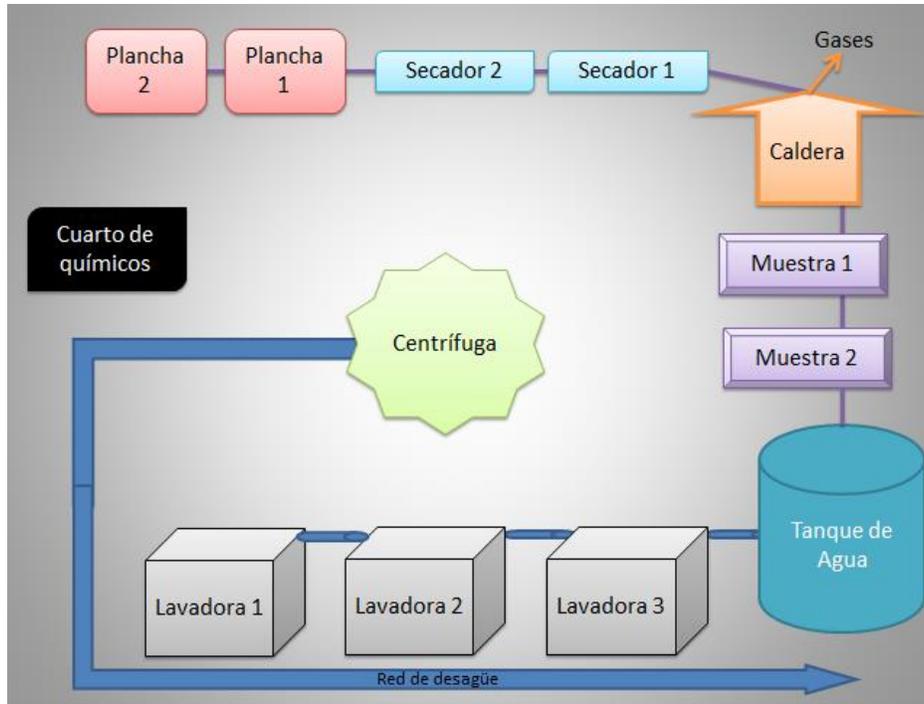


Figura 6. Proceso de producción

5.5.1 Organigrama de la empresa

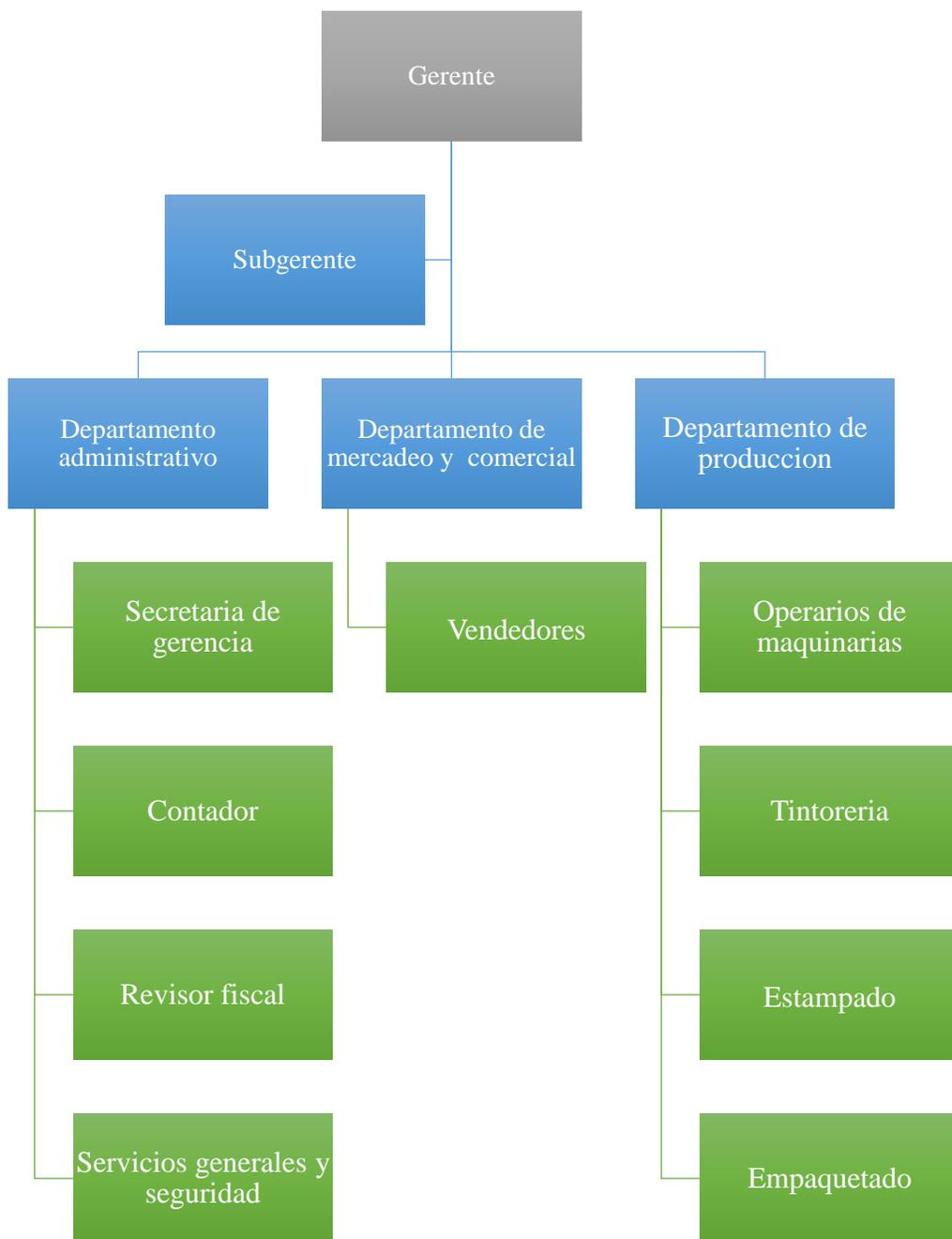


Figura 7. Organigrama de la empresa

6. Metodología

6.1 Diseño metodológico

6.1.1 Enfoque

El enfoque del proyecto de investigación fue mixto, ya que este implica un conjunto de procesos de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos, debido a que el objetivo uno se basaba en variables cualitativas, que para su realización fue necesario recurrir a información secundaria como medios de recolección de información como entrevistas abiertas, luego de la asignación de puntajes y de la selección de los dos coagulantes paso a ser cuantitativo, puesto que al realizar las pruebas de laboratorio y levantar información numérica se analizaran los datos obtenidos para dar cumplimiento a los demás objetivos. Siendo ambos enfoques de igual importancia (Sampieri, 2014).

6.1.2 Alcance

El proyecto tubo desarrollo en la ciudad de Bogotá D.C, a nivel práctico por medio del uso de laboratorio de la Universidad El Bosque, en responsabilidad de los estudiantes Rubén Darío Espinosa Otálora y Sebastián Zuluaga Orjuela, para efectuaron todo el proceso y el contenido de esta investigación. Se determinaron aquellos parámetros fisicoquímicos para el agua que pueden medirse fácilmente en el laboratorio de la universidad.

La empresa “INRUZZ S.A.S” brindo todas las muestras e información para la experimentación del proyecto. La Universidad El Bosque proporciono las bases e instalaciones para el desarrollo del proyecto, con el aporte de orientadores capacitados para asesorar y guiar la investigación desde un punto de vista técnico y metodológico, contando igualmente con la bibliografía investigada. Esta investigación identifico la efectividad de dos coagulantes naturales en aguas contaminadas con colorantes; a nivel económico, los gastos correrán por cuenta del investigador. proyecto tendrá un alcance correlacional, debido a que se debe de relacionar las teorías anteriormente investigadas y relacionarlas con los conceptos, además de cuantificar las relaciones entre variables. Para lograr esto utilizamos la metodología planteada por Samperi (2014).

6.1.3 Unidad de análisis

La unidad de análisis durante toda la investigación es el agua residual de jeans teñidos de color azul índigo de la empresa INRUZZ S.A.S. El problema está definido por la identificación de la problemática que presenta la industria textil a la calidad del agua.

6.1.4 Método

El método de la investigación será deductivo, ya que se tomarán muestras de aguas residuales y se realizará un debido análisis fisicoquímico para luego empezar a experimentar con el coagulante natural, con el fin de llegar a una conclusión particular (Sampieri, 2014)

6.1.5 Variables, aspectos e indicadores

Tabla 2. Aspectos, variables e indicadores

Dimensión	Variable	Aspecto	Indicador/descriptor
Ecológico	Recurso hídrico	Calidad	<ul style="list-style-type: none"> • Turbiedad • Color • pH • Solidos sedimentables • Conductividad • DQO • Solidos suspendidos totales • Generación de Lodos
Económico	Costos	Obtención	Precio * Kg
Social	Tecnología	Complejidad	Dificultad de aplicación

6.1.6 Tabla metodológica

Tabla 3. Tabla metodológica de objetivos, actividades, instrumentos, técnicas y resultados esperados

Objetivo general	Evaluar la capacidad de dos coagulantes naturales para la remoción de cargas contaminantes en el efluente final de la empresa textil INRUZZ S.A.S con respecto al coagulante comercial sulfato de aluminio			
Objetivos específicos	Actividad	Técnica	Instrumentos	Resultados esperados

Determinar los dos coagulantes naturales a evaluar a través de un análisis comparativo.	Recolección de información en literatura científica	Análisis documental	Documentos en repositorio de bibliotecas, internet, proyectos de grado, tesis de posgrados y artículos científicos en base de datos.	Se cuenta con los dos coagulantes
	Definir tipos de coagulantes a utilizar	Análisis de la información recolectada a partir del marco teórico y conceptual	Análisis multivariable para las alternativas Tabla de síntesis de información recolectada	
Evaluar la capacidad de remoción de carga contaminante de los coagulantes naturales seleccionados.	Recolección de la muestra del efluente final de la empresa INRUZZ SAS.	Muestreo de las aguas residuales.	Garrafón, EPP Nevera.	Evaluar capacidad de remoción de carga contaminante de los coagulantes naturales seleccionados y determinar cuál tuvo mejor rendimiento.
	Desarrollo de las pruebas de laboratorio correspondientes con los coagulantes. Realizar pruebas de laboratorio	Ensayo de jarras, medición de los parámetros fisicoquímicos. Análisis comparativo	Instrumentos y reactivos de laboratorio.	
Analizar comparativamente				

los coagulantes naturales y el químico tomando como referencia ciertos parámetros de la resolución 631 del 2015.	Análisis de los datos obtenidos a partir de las pruebas de laboratorio.	Análisis de correlaciones.	Normativa. Tabla de datos obtenidos.	Datos Comparativos entre los coagulantes naturales y el químico según los parámetros requeridos por la normativa.
--	---	----------------------------	---	---

Fuente: Autores, 2018

6.1.7 Metodología paso a paso

Se inicia con una revisión bibliográfica que permitirá determinar mediante un análisis de alternativas, los dos coagulantes naturales a seleccionar, según lo investigado respecto al tratamiento de las aguas residuales de la industria textil. Se tomaron en cuantos criterios como costo y método de obtención. Estos criterios vistos desde el componente social, económico y ecológico.

Posterior a la determinación del coagulante se recolectará el agua contaminada de la empresa de estudio y se procederá a realizar un análisis fisicoquímico de la muestra para determinar las condiciones iniciales de la misma. Luego se preparó el coagulante natural según la información teórica adquirida y se realizarán las pruebas pertinentes con el coagulante a través del ensayo de jarras. Además, se utilizará un coagulante sintético (sulfato de aluminio granulado), y se realizarán otras pruebas de calidad para luego proceder a hacer un análisis correlacional en el que se comparen la eficiencia de ambos coagulantes. El proceso completo se presenta en la figura 8.

Tabla 4. División por colores según objetivo específico

	Objetivo 1
	Objetivo 2
	Objetivo 3

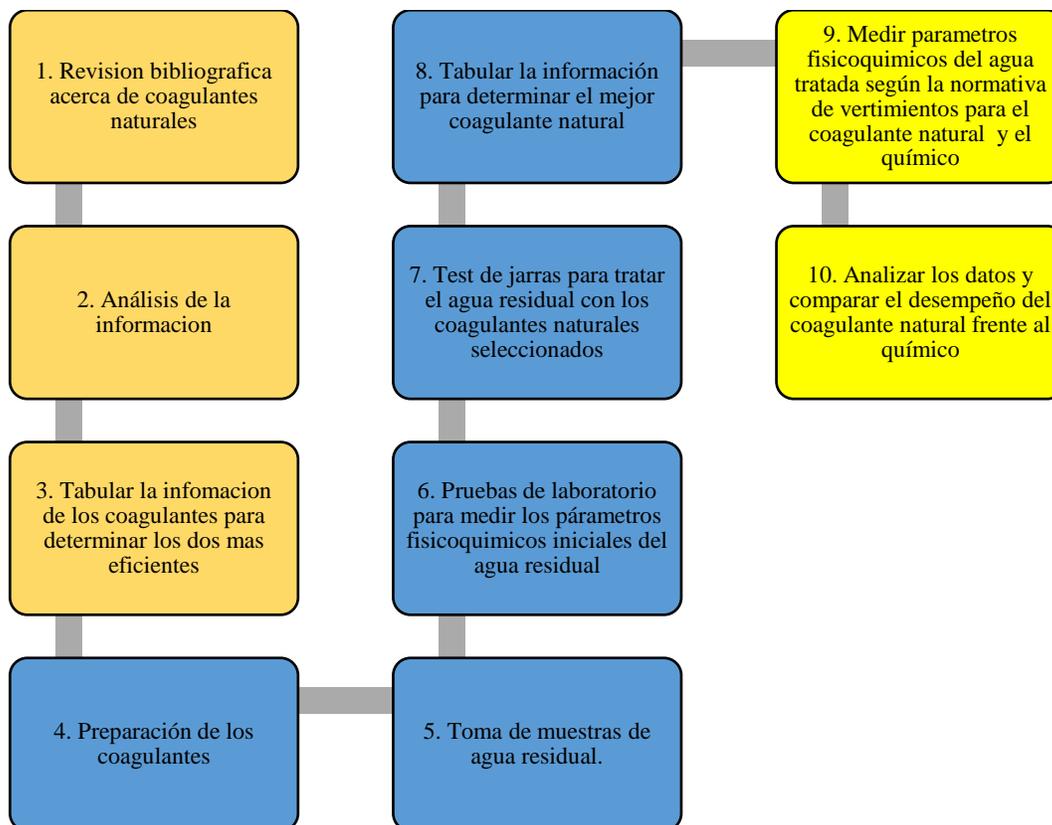


Figura 8. Metodología dividida por colores

7. Plan de trabajo

7.1 Objetivo específico 1

7.1.1 Metodologías obtención de los coagulantes

Dada la información recopilada en el marco teórico-conceptual, se procederá a analizar las metodologías de obtención de los coagulantes naturales investigados, para la selección de los dos coagulantes, en cuanto a su método de obtención, costo, facilidad de adquisición, complejidad tecnológica del método y tiempo de preparación. Lo anterior con base en la metodología de análisis de alternativas planteada por Sánchez (s. f.), a la cual se le realizó una adaptación en donde se contemplan ciertos criterios específicos que determinan la valoración correspondiente para cada coagulante a evaluar.

Con base en las metodologías de los coagulantes investigados, se dará una valoración de 1 a 5 como se observa en la tabla 5 y se analizarán de la forma como se observa en la tabla 6. El puntaje de los criterios previamente determinados estará dividido en el aspecto económico, ambiental y social como se observa en la tabla 7 y la justificación de estos criterios se realizarán como se muestra en la tabla 8 con base en lo determinado en la tabla 6.

Tabla 5. Puntajes para la valoración de los coagulantes naturales

Puntaje	1	2	3	4	5
Valoración	Deficiente	Insuficiente	Aceptable	Sobresaliente	Excelente

Tabla 6. Metodología de asignación de puntajes

critérios	Asignación de puntajes
Facilidad de adquisición	Se tendrá en cuenta un valor de 1 al material que sea de difícil acceso o limitada disponibilidad en el mercado y 5 puntos al material de fácil acceso y buena disponibilidad en el mercado
Complejidad tecnológica	Si el método de obtención del extracto puede ser de forma artesanal o requiere de un conocimiento técnico en el manejo de instrumentos de laboratorio y reactivos. 1. Corresponde a un método de obtención que requiere instalaciones con instrumental y equipos de laboratorio complejos o de difícil acceso 5. corresponde a un método de obtención sencillo (artesanal o de fácil acceso)
Método de obtención	Si es totalmente natural o si necesita de alguna sustancia química para su extracción. 1 corresponde a un método que necesita una cantidad considerable de químicos (igual o mayor a 3 químicos) para su extracción y 5 si su método no requiere de la utilización de químicos.
Costo	Basándonos en la triangulación del precio del sulfato de aluminio (coagulante por excelencia en Colombia) dio un valor de 4.000 pesos el kilo ANEXO 3. Se definirá con un puntaje de 1 a costos que superen ese precio por una gran cantidad y un puntaje de 5 a precios que sean iguales o inferiores al precio del sulfato de aluminio.
Tiempo de preparación	Un valor de 1 todo coagulante que tenga un tiempo de más de 3 días y un valor de 5 a los que tengan un tiempo de preparación de 1 día o menos.

Tabla 7. Análisis de alternativas según las variables determinadas

ALTERNATIVA	SOCIAL		ECOLÓGICO	ECONÓMICO		Puntaje total
	Facilidad de adquisición	Complejidad tecnológica	Método de obtención	Costo	Tiempo de preparación	

Coagulante natural 1						
Coagulante natural 2						

Tabla 8. Justificación de los criterios por alternativa

ALTERNATIVA	SOCIAL		ECOLÓGICO	ECONÓMICO	
	Facilidad de adquisición	Complejidad tecnológica	Método de obtención	Costo	Tiempo de preparación
Coagulante 1					
Coagulante 2					

A partir de una gráfica comparativa de los puntajes obtenidos de los coagulantes naturales, se elegirán los dos coagulantes a utilizar para el tratamiento del agua residual. La dinámica se ilustra en la siguiente figura.

Fase 1. Determinar coagulantes

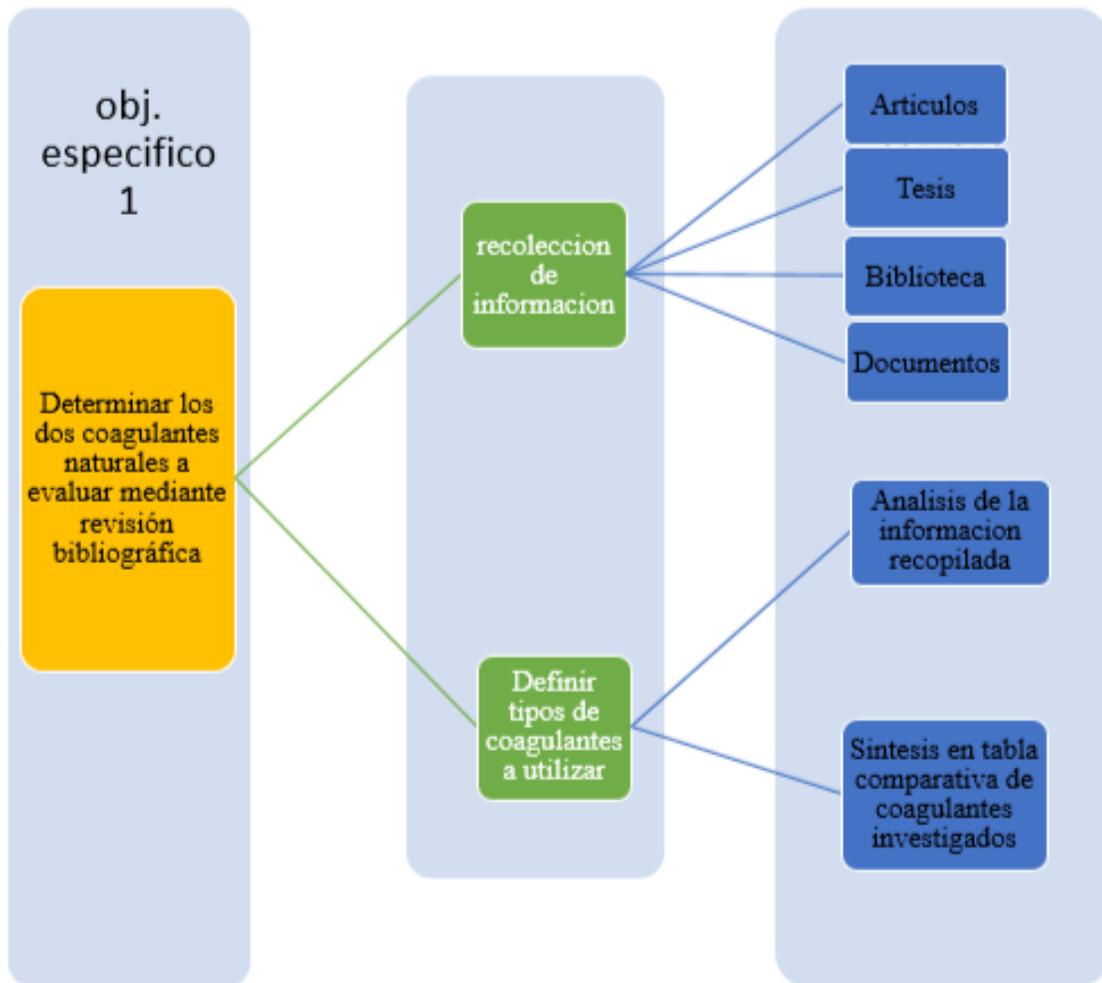


Figura 9. Desarrollo detallado objetivo específico 1

7.2 Objetivo específico 2

Una vez elegidos los 2 coagulantes naturales, para cumplir el desarrollo de este objetivo se procederá a la elaboración de los dos coagulantes seleccionados, cuya metodología de obtención será especificada en los resultados. Posteriormente se encontró la concentración de los dos coagulantes naturales seleccionados, luego a partir de la siguiente fórmula se encontró la dosis del coagulante.

$$Dosis = \frac{\text{concentración} \left(\frac{mg}{L} \right) * \text{volumen agua a tratar} * 1000}{\text{concentración del coagulante}}$$

Se recolecto la muestra de agua contaminada (ANEXO 4) de la empresa que realiza la descarga del efluente industrial. Posteriormente fue necesario el uso del laboratorio de investigación de la Universidad El Bosque y de los equipos pertinentes para la obtención de datos que permitan la realización de comparaciones, en términos de capacidad de remoción, de estos coagulantes naturales anteriormente seleccionados. Las pruebas fueron realizadas con base en las recomendaciones de la guía APHA (2005) para cada uno de los criterios a contrastar.

Para lo anterior se llevó a cabo la recolección de la muestra de agua como se describe a continuación.

7.2.1 Toma y preparación de muestras

7.2.1.1 Efluente industrial

La muestra de agua se recolecto en la empresa INRUZZ SAS cuya ubicación es especificada en el dentro del marco referencial del presente trabajo; el día 3 de septiembre del presente año, en el canal de agua residual al final del proceso (Figura 10). Como primera instancia las condiciones iniciales del sitio de muestreo fueron medidas como se observa en la tabla 9 y posteriormente se procedió a recolectar el agua directamente del curso de agua residual presente en el canal mencionado anteriormente (Figura 10).



Figura 10. Toma de muestra del efluente industrial

Tras la recolección de la muestra de agua del efluente contaminado por la actividad industrial que toma lugar en la empresa, se procedió a llevar a cabo las pruebas de laboratorio respectivas para el posterior análisis de los parámetros que a continuación fueron descritos; para lo cual se tomó en cuenta metodologías estandarizadas (APHA, 2005) como se describe más adelante.

Una vez recolectada la muestra, como primera instancia, se realizó un análisis de los parámetros iniciales de esta, según los parámetros que se observa en la tabla 9

Tabla 9. Parámetros iniciales de la muestra de agua residual INRUZZ SAS.

Muestra de agua contaminada	
pH	
Turbidez (NTU)	
Conductividad (mS/cm)	
Color (PCU)	
SST (mg/L)	
SS (mg/L)	
DQO (mg/L)	

Fuente: Autores, 2018

Una vez se tomaron los parámetros iniciales de la muestra de agua, se procedió a realizar los montajes de las pruebas de los mismos parámetros de la tabla 9, para cada uno de los dos coagulantes seleccionados mediante el análisis de alternativas realizado. Lo anterior siguiendo la metodología descrita a continuación.

7.2.2 Análisis de laboratorio - Ensayo de jarras

Los ensayos de jarras fueron llevados a cabo tomando como base la metodología propuesta por APHA (2005), con el equipo de jarras y realizados por triplicado como se indica en APHA, AWWA, WPCF (2005). Simultáneamente se empleó un turbidímetro 2100 N HACH, previamente calibrado antes de las mediciones correspondientes, para efectuar los controles de turbiedad.

Tomando como referencia estudios realizados por (Dalvand et. al, 2016) y recomendaciones del tutor del presente trabajo, se tomaron unidades de concentración de 100, 150, 200, 250 y 300 ppm y se dejó una muestra patrón con el fin de tener un punto de comparación al efectuar los distintos ensayos con los coagulantes naturales seleccionados.

Para lo anterior, se tomaron 6 beakers de 1 L, con agua de la muestra tomada en la empresa, a las cuales se le adicionó una dosis de coagulante correspondiente a la concentración deseada como se observa en tabla 10. En donde posteriormente se procedió a agitar la mezcla a una velocidad de mezcla rápida de 100 rpm por 1 minutos, seguido de una velocidad lenta a 40rpm por 15 minutos. Por último, el floc generado se dejó precipitar por 1 hora.

Tabla 10. Proporción de volúmenes para el montaje de los ensayos de jarras.

Coagulante 1				Coagulante 2			
Dosis (ppm)	Alícuota del extracto (mL)	Volumen de agua contaminada (mL)	Total (L)	Concen tración (ppm)	Alícuota del extracto (mL)	Volumen de agua contaminada (mL)	Total (L)
Dosis 1			1				1
Dosis 2			1				1

Fuente: Autores, 2018

Adicional, se realizará un análisis al comportamiento de la turbidez para cada dosis aplicada respectiva y simultáneamente su pH óptimo. El registro fue tomado mediante el uso de las tablas 11 y 12.

Tabla 11. Curva de turbidez

mg/L	Turbidez (NTU) ENSAYO 1	Turbidez (NTU) ENSAYO 2	Turbidez (NTU) ENSAYO 3	PROMEDIO NTU
Dosis 1				
Dosis 2				

Fuente: Autores, 2018

Tabla 12. curva pH

mg/L	PH ENSAYO 1	PH ENSAYO 2	PH ENSAYO 3	PROMEDIO PH
Dosis 1				
Dosis 2				

Fuente: Autores, 2018

7.2.3 Análisis de laboratorio

A dicha muestra, correspondiente a la jarra que presente mayor sedimentación de partículas coloidales, se le efectuarán pruebas según los parámetros contemplados (ver anexo 5), que son turbidez, pH, DQO,

conductividad, color, solidos suspendidos totales y lodos producidos; lo anterior para medio alcalino, neutro y ácido respectivamente.

Los datos arrojados, en cuanto a capacidad de remoción para cada uno de los parámetros, fueron consignados para los dos coagulantes dispuestos a ser evaluados, siguiendo el orden de la tabla 13.

Tabla 13. Capacidad de remoción por coagulante según parámetros establecidos.

PARÁMETRO	PARÁMETROS INICIALES	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO FINAL ENSAYOS	PORCENTAJE DE REMOCIÓN
pH						
Turbidez (NTU)						
Conductividad (µs/cm)						
DQO (mg/L)						
Color (PCU)						
Sólidos suspendidos totales (mg/L)						
Lodos (mg/L)						

Fuente: Autores, 2018

A partir de los datos obtenidos con los análisis de laboratorio, se compararán los porcentajes de remoción de los dos coagulantes naturales según la tabla 14 de los parámetros indicados. Tal y como se denota en la tabla 13; la cual es modelo para construir las tablas de comparación de datos en cuanto a capacidad de remoción.

Tabla 14. Datos de los parámetros y capacidad de remoción de estos según el coagulante.

Coagulante Parámetro	Extracto de MO			Extracto de OP		
	Ini.	Fin.	Remoción (%)	Ini.	Fin.	Remoción (%)
pH						
Conduct. (mS/cm)						
Turbidez (NTU)						

Color (PCU)						
SST (mg/L)						
SS (mg/L)						
DQO (mg/L)						

Fuente: Autores, 2018

Fase 2. Pruebas de laboratorio

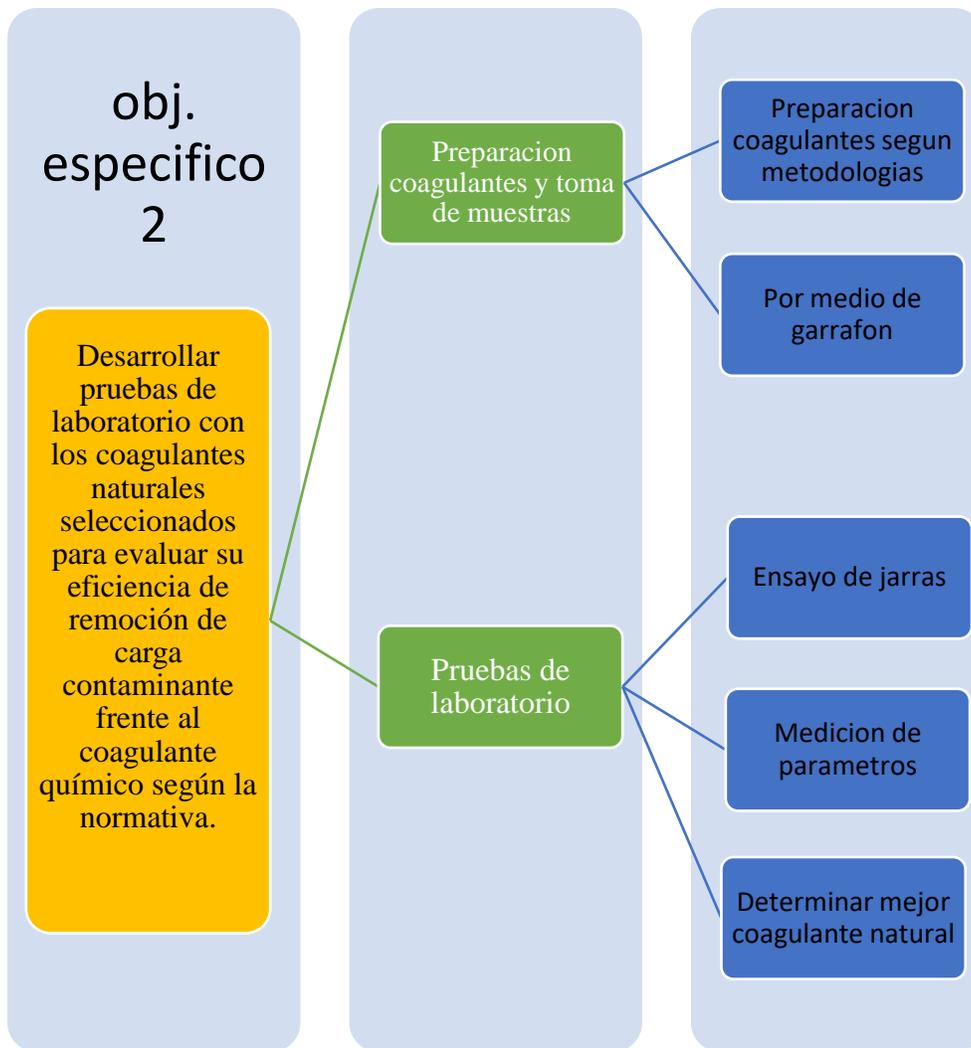


Figura 11. Diagrama de metodología del objetivo dos

7.3 Objetivo 3

Para el tercer objetivo se comparará la capacidad de remoción de contaminantes por parte de los coagulantes naturales; de igual manera con el coagulante químico de Sulfato de Aluminio. Para esto, también se realizarán ensayos de jarras según la metodología planteada en el objetivo 2, registrando los datos en las tablas allí estipuladas.

Dicha comparación será elaborada tomando como referencia los valores límite de los parámetros, de la resolución 631 de 2015, contemplados en el presente trabajo como se observa en la tabla 15.

Tabla 15. Comparación de muestra inicial, coagulantes y normativa

Parámetro	Inicial	Natural 1	Natural 2	Sulfato	Norma	Cumple
Parámetro 1						
Parámetro 2						

Fuente: Autores, 2018

A continuación, se muestra un diagrama con el proceso general para la consecución del objetivo 3.

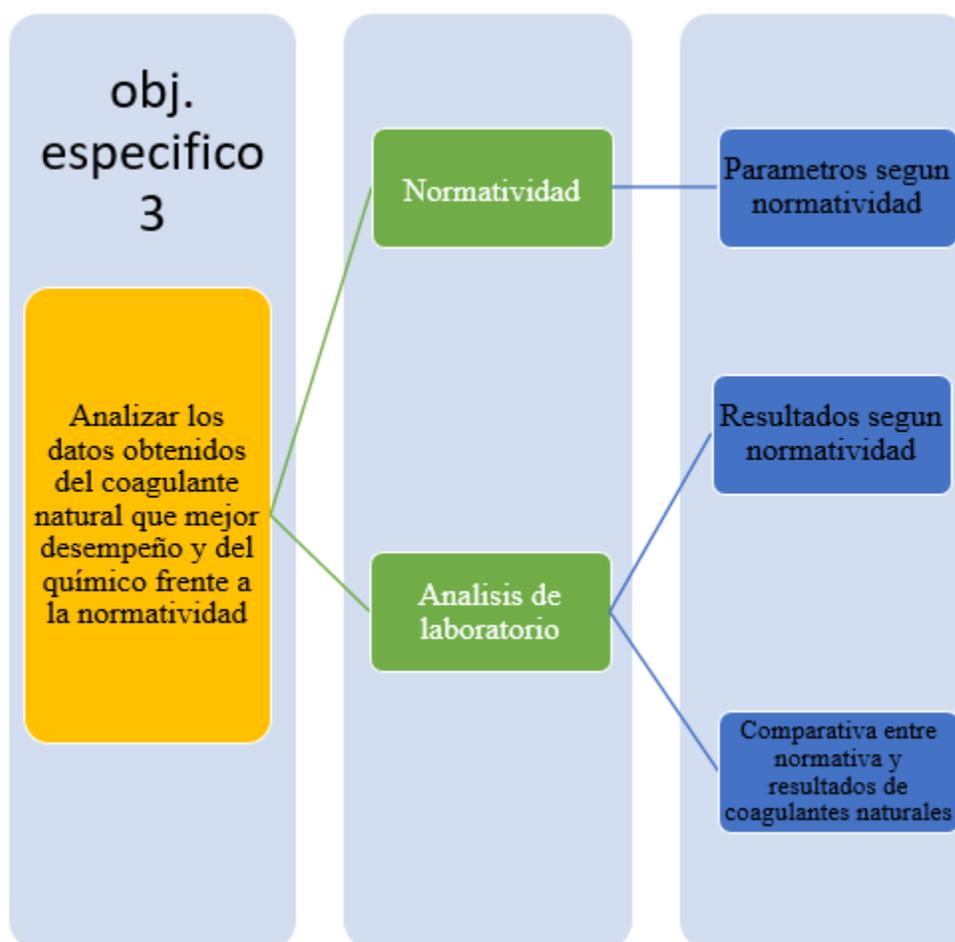


Figura 12. Diagrama de metodología del objetivo tres

8. Resultados y análisis

8.1 Objetivo 1

Tabla 16. Criterios justificados para el análisis de alternativas

Criterio coagulante	Moringa Oleífera (Moringa)	Opuntia ficus-indica (Nopal)	Prunus persica (Durazno)	Quitosano	Tamarindus indica (Tamarindo)	Pectina de naranja
Método de obtención	Según la metodología usada por Dalvand et al. (2016) el coagulante de Moringa se puede obtener de manera relativamente sencilla pues los materiales necesarios son básicos de un laboratorio o inclusive para una persona común existe la posibilidad de reemplazar dichos materiales por algunos que normalmente se consiguen fácilmente en el hogar (Mortero, solución salina de	Según la metodología a Guzmán, (2017) es posible obtener dicho coagulante de manera relativamente sencilla pues no requiere de instrumentos de difícil obtención y/o de costo elevado pues solo se necesita un recipiente para verter el mucílago de la penca del Nopal y un colador para la fase final del experimento.	Según Carrasquero et al. (2015) se obtuvo el coagulante extrayendo los cotiledones (almendras) de las semillas con un martillo, luego se molieron, tamizaron y finalizaron utilizando el sistema Soxhlet para el desengrasado de las semillas. Este sistema se fundamenta en la extracción del componente activo mediante el uso de solventes químicos	El método de obtención propuesto por (Carrasquero et al, 2014; Caldera et al, 2015; Paz, Galvis, & Agudelo, 2012) para lograr extraer el quitosano presente en el exoesqueleto de los camarones, indica el montaje de procedimientos de desproteinización, desmineralización y desacetilación los cuales requieren diversos compuestos químicos como el NaOH (hidróxido de sodio), ácido acético (CH ₃ COOH), HCl (ácido clorhídrico) y	En la metodología propuesta por Pacheco & Hernández. (2017); Hernández et al. (2015). Se denota que para la extracción de coagulante a partir de la semilla de tamarindo (Tamarindus indica) consta de 5 etapas (despulpado, secado, molienda, tamizado y maceración). Para el despulpado se realiza de forma manual se hidrata y se lava, luego se seca a 65 °C, para luego molerla y obtener un polvo blanco y proceder a tamizar el polvo previamente	De acuerdo con la metodología presentada por Bautista, (2017), se emplean 8 pasos para la obtención del coagulante que requieren el uso de varias sustancias químicas para llevar a cabo la extracción del componente activo coagulante (H ₂ SO ₄ , Etanol) lo cual indica un puntaje 2.

	NaCl (1M), semillas de Moringa).		en un balón aforado para su evaporación y desengrasado (Núñez, 2008). Fue por esta razón que se determinó un puntaje de 3 pues el método de obtención requiere del uso de ciertos reactivos para realizar el procedimiento de extracción.	al ser 3 químicos utilizados dio un puntaje de 1.	obtenido, a partir del polvo tamizado se macera por lo que no fue necesario la utilización de ningún compuesto químico para su extracción y por ende se le otorgó un puntaje de 5.	
Costo por kilo	Aprox 40.000 COP/kg según información suministrada en las entrevistas abiertas realizadas a los trabajadores de las centrales de abasto Paloquemá, Corabastos y Las	El valor de una penca de Nopal equivale a 4000 COP/kg según información suministrada en las entrevistas abiertas realizadas a los trabajadores de las centrales de abasto Paloquemá	Basándonos en la metodología realizada por Carrasquer et al. (2015), el costo de la semilla de durazno se determinó como gratis. Dado que al ser un desecho se recolecto en los	Este coagulante proviene principalmente de los desechos de la industria pesquera y debido a que es un residuo, este no tendría ningún costo de adquisición (Caldera et al, 2015; Paz, Galvis, & Agudelo, 2012) y por	Según las entrevistas abiertas (ANEXO 6) realizadas a los trabajadores de distintas centrales de abasto; 125 gr de tamarindo se venden a 2.000 COP lo que traduce un valor de 16.000 COP lo que le confiere una puntuación de 2.	El coagulante al ser extraído de los desechos de las cascaras de naranja (Bautista, 2017) el costo es nulo debido a que es considerado un residuo; por ende, se le confiere un puntaje de 5.

	Ferias, dada esta información se le otorgo una puntuación de 1, puesto que el precio por kilo se encuentra muy por encima al precio del sulfato de aluminio mirar ANEXO 6	o, Corabastos, Las Ferias. Mirar ANEXO 6	diferentes puntos de elaboración de productos derivados de esta especie vegetal. Debido a esto se le otorgo un puntaje de 5	ende se le otorgó un puntaje de 5.		
Facilidad de adquisición	La obtención es relativamente sencilla, pues, solo se necesita desplazarse al mercado local y adquirir la semilla. Lo anterior siempre y cuando exista oferta de centrales de cultivo del árbol de Moringa que provean los puntos de abasto de este tipo de alimento en Bogotá D.C.	Según Sáenz, Berger, Cuevas García, Arias Jiménez & Rosell, (2006) el Nopal se encuentra en países como Colombia donde hay presencia de esta especie debido a su uso común, principalmente como alimento, y se encuentra en estado silvestre o de cultivo y por ende	Es de una fácil adquisición dado que al ser un desecho es posible encontrar la semilla en puntos industriales de elaboración de productos derivados de esta especie vegetal. Sin embargo, se torna necesario desplazarse a diferentes puntos de la ciudad donde se	Al ser un coagulante que se obtiene a partir del exoesqueleto de los camarones (principalmente) y dado que al ser un residuo generado por la industria pesquera. Los principales puntos posibles para la adquisición de la materia prima estarían ubicados en zonas costeras como por ejemplo Buenaventura y Tumaco	La facilidad de adquisición se traduce como media; debido a que, de los tres lugares en donde se realizó recopilación de información, solo se encontró oferta en Corabastos. Simultáneamente fue en el único lugar en el cual no se le había aplicado ningún tipo de procesamiento a la materia prima; motivo por el cual se	La obtención de las cascavas de naranja es un trabajo que no conlleva mucho esfuerzo debido a que en la ciudad de Bogotá se pueden encontrar puestos informales de preparación de este tipo de fruta puntaje 5

		al desplazarse a una central de abasto será sencillo adquirir esta especie vegetal.	ubiquen dichos puntos industriales que generen este tipo de residuos. por esta razón se le dio un puntaje de 4.	(Paz, Galvis, & Agudelo, 2012) Es por esta razón que se le dio un puntaje de 2 ya que se torna compleja la dinámica de adquisición debido a las grandes distancias de los puntos abastecedores de materia prima para la obtención de este coagulante	le otorgó un puntaje de 3.	
Tiempo de preparación	El tiempo de preparación no requiere de más de un día puesto que los procedimientos realizados a la semilla para la obtención del coagulante no requieren de técnicas complejas (Dalvand et al, 2016; Madrona, 2010;	El tiempo de preparación del extracto que actúa como coagulante, es de alrededor de 2 días puesto que se torna necesario reposar los trozos seccionados de la penca en el solvente, que para este caso es agua destilada	según la metodología de preparación del coagulante prunus persica propuesta por Zambrano (2016) se demoró un total de 3 días en su preparación, desde el lavado hasta cuando se obtuvo el coagulante. Por el	De acuerdo con la metodología propuesta por Carrasquero et al. (2014) Desde el proceso de lavado hasta la obtención del coagulante, se requiere de un total de 76 horas lo que traduce un total de más de tres días de elaboración; dando como resultado un puntaje de 1.	Aproximadamente se requieren 4 días, para la obtención del coagulante, a partir del despulpado; dado que hay que hidratar por un total de tres días y a partir de ahí un total de aproximadamente 13 horas hasta para la consecución de los procesos restantes (Pacheco, & Hernández, 2017;	Según la metodología de preparación propuesta por Bautista, (2017); el tiempo requerido para la obtención de este agente coagulante es de aproximadamente uno o dos días por ende se le confiere un puntaje de 3.

	Pritchard, Craven, Mkandawire, Edmondson, & O'Neill, (2010).	(Guzmán, 2017).	cual se determinó un puntaje de 1		Hernández et al. 2015). Lo que le confiere un puntaje de 1.	
Complejidad tecnológica	La obtención del coagulante de Moringa no requiere de gran conocimiento técnico y/o en manejo de instrumental de laboratorio puesto que la metodología de extracción de este solo requiere del uso de agua destilada y una solución salina que puede ser obtenida con la dilución de sal común o de cocina y agua destilada que mezclado con el polvo triturado de	La obtención de este coagulante no requiere de un conocimiento técnico y/o de instrumental de laboratorio importante pues según la metodología propuesta por Guzmán (2017), estos conocimientos solo se limitarían al uso de agua e instrumentos básicos de laboratorio como beakers y cedazo.	La utilización de diversos compuestos químicos y de equipos de laboratorio para la extracción del coagulante (Carrasquero et al, 2015). Hacen que la extracción se torne un poco complicada. Motivo por el cual tuvo un puntaje de 3	El gran número de procedimientos para la extracción del coagulante que al ser tan complejos solo se puedan realizar en laboratorios que cuenten con los equipos y reactivos que sean necesarios, por esta razón se le dio un puntaje de 1.	El método de preparación no contiene ningún procedimiento que requiera el uso de equipos de laboratorio que sean de difícil adquisición y/o acceso; pues los procedimientos se pueden realizar manualmente en su mayoría (Pacheco, & Hernández. 2017; Hernández et al. 2015). Confiriéndole así un resultado de 4.	El trabajo de laboratorio y el uso de soluciones para ajustar el pH del agua, que se utiliza para la hidrólisis ácida, puede llegar a ser dispendioso; si no se cuenta con el conocimiento técnico en cuanto a la manipulación de dicho reactivo al momento de realizar los procesos de extracción de este coagulante por ende se le confiere un puntaje de 3.

	<p>las semillas de esta especie vegetal, conforman el extracto coagulante (Dalvand et al, 2016; Madrona, 2010; Pritchard, Craven, Mkandawire, Edmondson, & O'Neill, 2010)</p>					
--	---	--	--	--	--	--

Fuente: Autores, 2018

Tabla 17. Valoración numérica ya determinada para el análisis de alternativas

ALTERNATIVA	SOCIAL		ECOLOGICO	ECONOMICO		Puntaje total
	Facilidad de adquisición	Complejidad tecnológica	Método de obtención	Costo	Tiempo de preparación	
Moringa oleífera	5	4	4	1	5	19
Nopal	5	4	5	5	3	22
Tamarindo	3	4	5	2	1	15
quitosano	2	1	1	5	1	10
pectina de Naranja	5	1	2	5	3	16

Semilla de Durazno	4	3	3	5	1	16
---------------------------	---	---	---	---	---	-----------

Fuente: Autores, 2018

Se procederá a analizar cada uno de los criterios planteados según como fueron categorizados en los aspectos social, económico y ecológico, para ello, se tendrá en cuenta la asignación de los puntajes realizado en la anterior tabla y la justificación de cada uno de los criterios tratados.

En cuanto a lo social se determinaron dos criterios, los cuales fueron facilidad de adquisición y complejidad tecnológica. En el primer criterio mencionado, la mayoría de los coagulantes naturales obtuvo una valoración de cuatro o superior, sobresaliendo los coagulantes de nopal, moringa y pectina de naranja, debido a que son materias primas que contaban con una buena disponibilidad en el mercado bogotano, lo cual puede llegar a ser importante para aquella empresa que desee la adquisición de este tipo de material generando así mayores oportunidades de empleo dado al posible aumento de la producción de estos cultivos. Por el contrario, los coagulantes de quitosano y tamarindo presentan una dificultad por cuestiones de ubicación del material, como fue el ejemplo del quitosano, para una empresa situada en la ciudad de Bogotá sería de una difícil adquisición dada a la complejidad de almacenamiento y transporte que conlleva a la conservación de los exoesqueletos de ese tipo de crustáceos y el tamarindo debido a la poca disponibilidad encontrada en las distintas plazas de mercado por lo que sería necesario contar con un proveedor fuera de Bogotá.

Para el segundo criterio planteado en el ámbito social, la complejidad tecnológica juega un papel fundamental al momento de la preparación del coagulante, dado que al utilizarse menos equipos y necesitar un menor conocimiento técnico al momento de producir el coagulante, generaría una menor inversión y sería más fácil para la empresa la implementación de dichos coagulantes. De los coagulantes evaluados los tres de mayor puntuación fueron la moringa el nopal y el tamarindo, se le dio el mismo puntaje ya que estos coagulantes según sus metodologías de obtención, no era necesario equipos de laboratorio de complejo acceso y no requerían de un gran conocimiento técnico para la utilización de los equipos. Fue por dicho motivo que los demás coagulantes se les otorgó puntajes de uno y de tres, en vista de que al ser su proceso de extracción del coagulante tan complejo y al uso de diversos reactivos y equipos de laboratorio dificultaría en gran medida la obtención de grandes cantidades de coagulante natural.

Para el aspecto ecológico, se determinó método de obtención, el cual se definió como aquel método que utilice menos químicos para su extracción, dado que al ser el extracto de las materias primas (alternativas) lo que genera el proceso de coagulación y para conseguirlo algunos procedimientos requieren de la utilización de diversos químicos que podrían generar distintos problemas ambientales. De las seis alternativas planteadas solo tres (moringa, nopal y tamarindo) lograron puntuaciones altas, ya que al tener procesos bastantes simples, reducida en gran medida la utilización de compuestos químicos, hasta llegar a ser nula o en muy baja cantidad la utilización de estos. Por el contrario de los demás coagulantes evaluados (quitosano, pectina de naranja, semilla de durazno) consiguieron puntajes muy bajos, dado que, al ser coagulantes naturales de fácil acceso, es necesario la utilización de más de un compuesto químico y de diferentes procedimientos para la extracción del coagulante.

Respecto a lo económico, fue dividido en costo y tiempo de preparación, considerando que ambos criterios son fundamentales para la economía del proyecto. Para el costo se basó en el precio por

kilogramo del coagulante químico más utilizado (sulfato de aluminio). En su mayoría los coagulantes naturales evaluados eran desechos de algún proceso o su costo era bastante similar al sulfato lo que les otorgo una buena valoración en este criterio, pero en el caso de la moringa fue el que tuvo la menor calificación posible según los asignación de puntajes, debido a que al ser investigada en plazas de mercado el precio establecido era de venta al por menor, pero es posible que al encontrar el proveedor de tales semillas y de la compra de grandes cantidades se logre una mejor puntuación en este criterio.

Para el tiempo de preparación, al contrario del criterio anterior, el que obtuvo mejor puntuación fue el de moringa, dado que fue el único que según las metodologías investigas su tiempo de preparación no superaba un el día, en comparación de los demás que superaban el margen planteado en la metodología.

Se determinarán los dos coagulantes naturales a utilizar por medio de la siguiente gráfica, la cual ayudara a justificar que coagulantes naturales son los indicados para proceder al análisis de laboratorio.

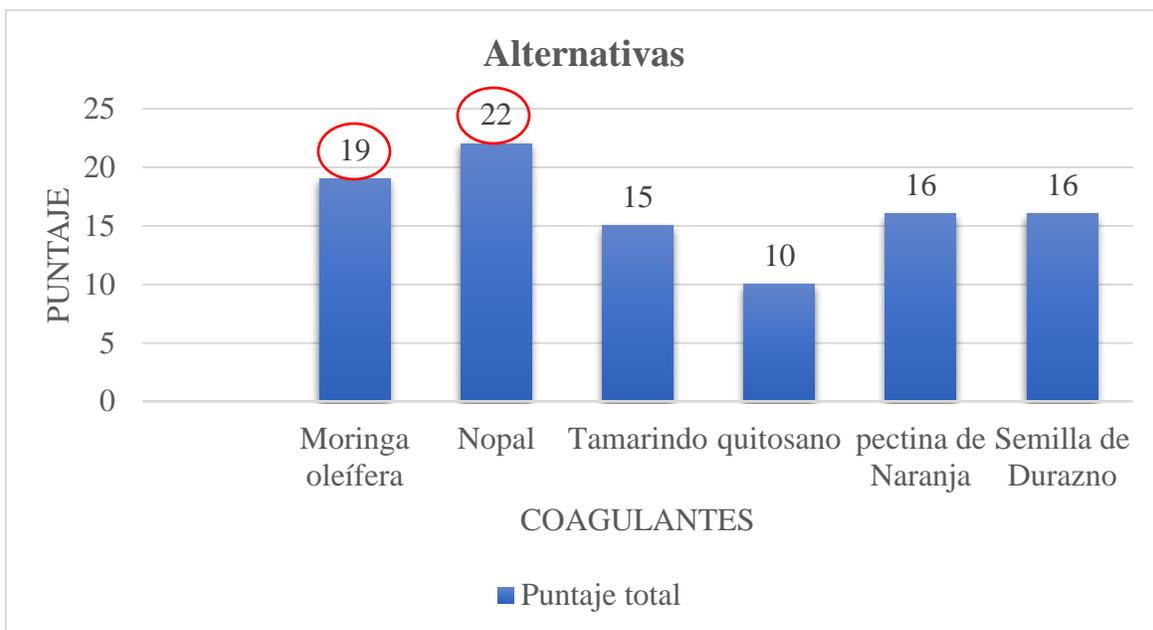


Figura 13. Grafica comparativa de puntajes de alternativas

Teniendo en cuenta la asignación de los puntajes realizado y la figura 13, los coagulantes que obtuvieron un mayor puntaje fueron el de Moringa Oleífera con un total de 19 puntos (sobresaliente) y Opuntia ficus indica (Nopal) con puntaje de 22 (excelente).

En cuanto a la Moringa y el Nopal, esta obtuvo uno de los dos puntajes más altos para la evaluación de alternativas, esto se debe a que la Moringa tiene la característica de ser una especie vegetal de fácil acceso, tecnológicamente no requiere de un conocimiento elevado en capacidades técnicas para manipulación de químicos e instrumental de laboratorio; su método de obtención es sencillo en contraste con los demás coagulantes valorados y el procedimiento de obtención del extracto no conlleva la inversión de una cantidad considerable de tiempo según los datos presentados en la Tabla 16. Estos dos coagulantes procederán a ser analizados en el laboratorio según los parámetros planteados en el objetivo número dos.

8.2 Objetivo 2

Se procedió a realizar la adquisición de las especies vegetales y posteriormente la obtención del extracto (coagulante) para cada una.

8.2.1 Obtención de especies vegetales

8.2.1.1 *Moringa Oleífera*

La semilla de *Moringa Oleífera* fue recolectada en la central de abasto ubicada en el barrio Las Ferias de la Localidad de Barrios Unidos, Bogotá D.C.; en el mes de agosto del presente año; lo cual corrobora los datos señalados en la tabla 17 acerca de la facilidad de adquisición. La central de abasto tiene gran cantidad de oferta de alimentos, sobre todo de especies vegetales, hierbas, semillas, entre otros alimentos. Las semillas fueron empaquetadas en bolsas plásticas de tamaño reducido y fueron almacenadas hasta su posterior uso.

8.2.1.2 *Opuntia ficus indica (Nopal)*

El cladodio o penca del Nopal, fue adquirido en la central de abasto ubicada en el barrio Paloquemao de la localidad de Los Mártires el día 26 de agosto del presente año; donde existe disponibilidad de material vegetal de esta especie. El cladodio fue debidamente cubierto con uso de Vinipel y llevado al laboratorio para su almacenamiento hasta su posterior uso.

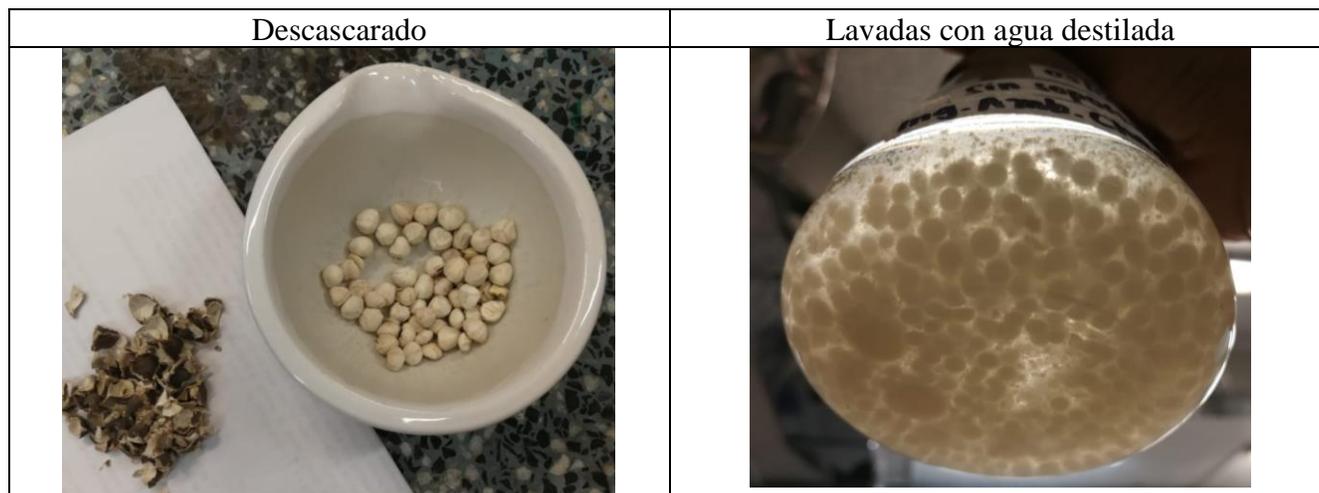
8.2.2 Preparación de los extractos paso a paso

8.2.2.1 *Moringa Oleífera*

Paso 1

Las semillas previamente empaquetadas y almacenadas a temperatura ambiente fueron extraídas del empaque, descascaradas a mano y lavadas con agua destilada con el fin de remover impurezas restantes de la remoción de la cascara de la semilla. Luego se pesó la cascara y la semilla para determinar las masas de cada una de ellas.

Tabla 18. Ilustraciones descascarado y lavado

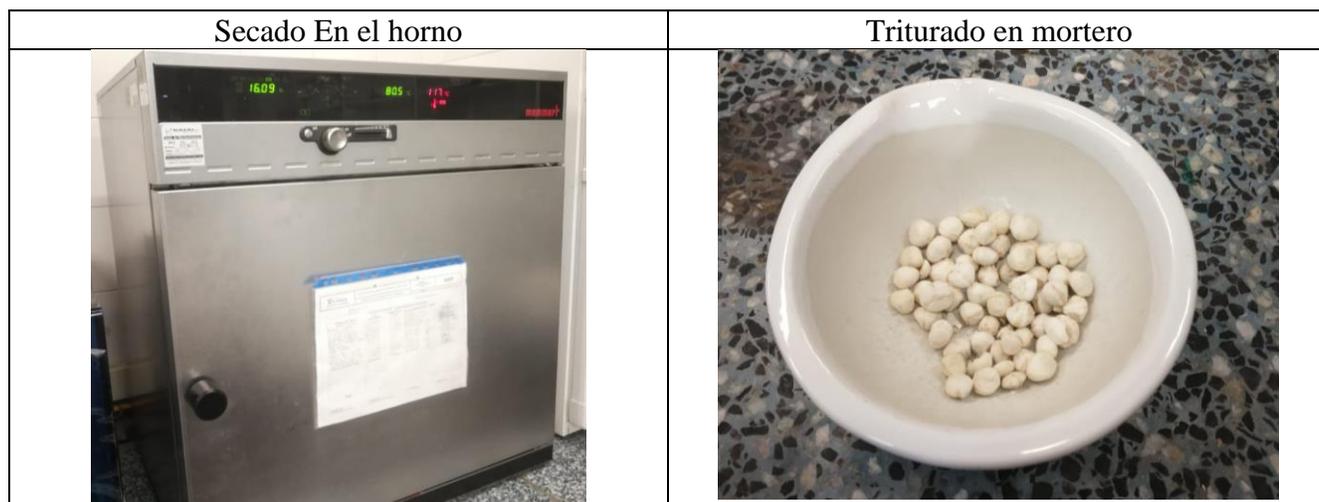


Fuente: Autores, 2018

Paso 2

Una vez fueron lavadas, se introdujeron la una mufla a 105 °C por 1 hora para evaporar el agua que permeo las semillas. Posteriormente se trituraron con ayuda de un mortero y un pistilo hasta pulverizar las semillas.

Tabla 19. Ilustraciones secado en el horno y triturado



Fuente: Autores, 2018

Paso 3

Una vez pulverizadas, se procedió a tamizar a 355 μm el polvo, hasta obtener 2g de este.

Tabla 20. Ilustraciones de tamizar y pesado

Tamizar	Pesar
	

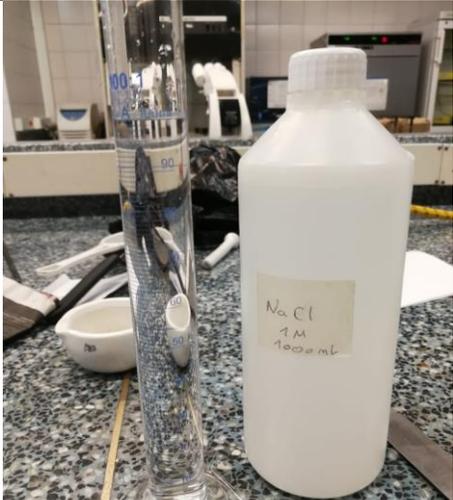
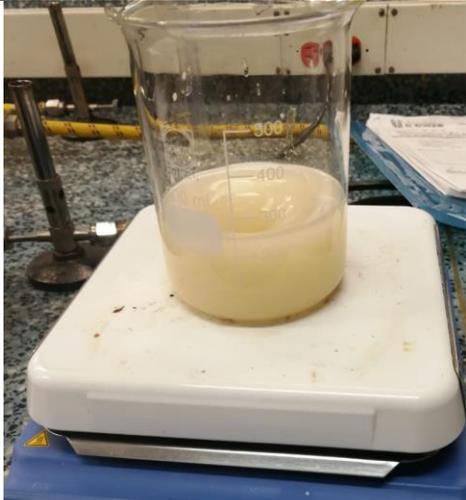
Fuente: Autores, 2018

Paso 4

Según (Madrona, 2010; Dalvand et. al, 2016; Pritchard, Craven, Mkandawire, Edmondson, & O’Neill, 2010) se aconseja preparar el extracto mezclándolo con una solución de NaCl 1M con el fin de aumentar la capacidad de solubilización en el agua de las proteínas presentes en la semilla de Moringa, las cuales son responsables de la actividad coagulante (Baptista et. al., 2017).

Para ello fue utilizado un agitador magnético en donde se mezcló 2g del polvo obtenido en 100mL de la solución salina, mencionada anteriormente, por 30 min con el fin de homogeneizar las dos fases de la solución tabla 21.

Tabla 21. Ilustraciones de la solución y agitador magnético

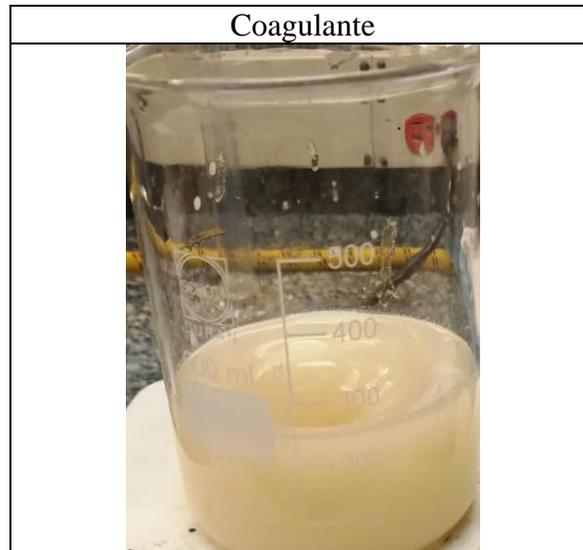
Solución 100 mL	Agitador magnético
	

Fuente: Autores, 2018

Paso 5

Por último, la solución fue utilizado como extracto en la coagulación de la muestra de agua tomada. Mencionar como se almaceno para su uso posterior.

Tabla 22. Ilustraciones del coagulante



Fuente: Autores, 2018

Concentración coagulante de moringa

Según la metodología de extracción de la semilla de moringa oleífera, se tamizo el polvo de la semilla hasta llegar a un peso de 2 gr. Esto se diluyo con una solución de NaCl a 1 molar por media hora. Esa solución fue la que se utilizó como coagulante de moringa. A continuación de muestra la concentración de la semilla de moringa.

$$\text{Concentración} = \frac{2 \text{ gr}}{100 \text{ ml}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ gr}} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} = 20,000 \text{ ppm}$$

Luego se realizó el test de jarras, para mayor detalle revisar el ANEXO 29

Dosis coagulante de moringa

Tabla 23. Dosis coagulante de Moringa

Concentración (mg/L)	Dosis (mL)
100	5
150	7,5
200	10
250	12,5

300	15
-----	----

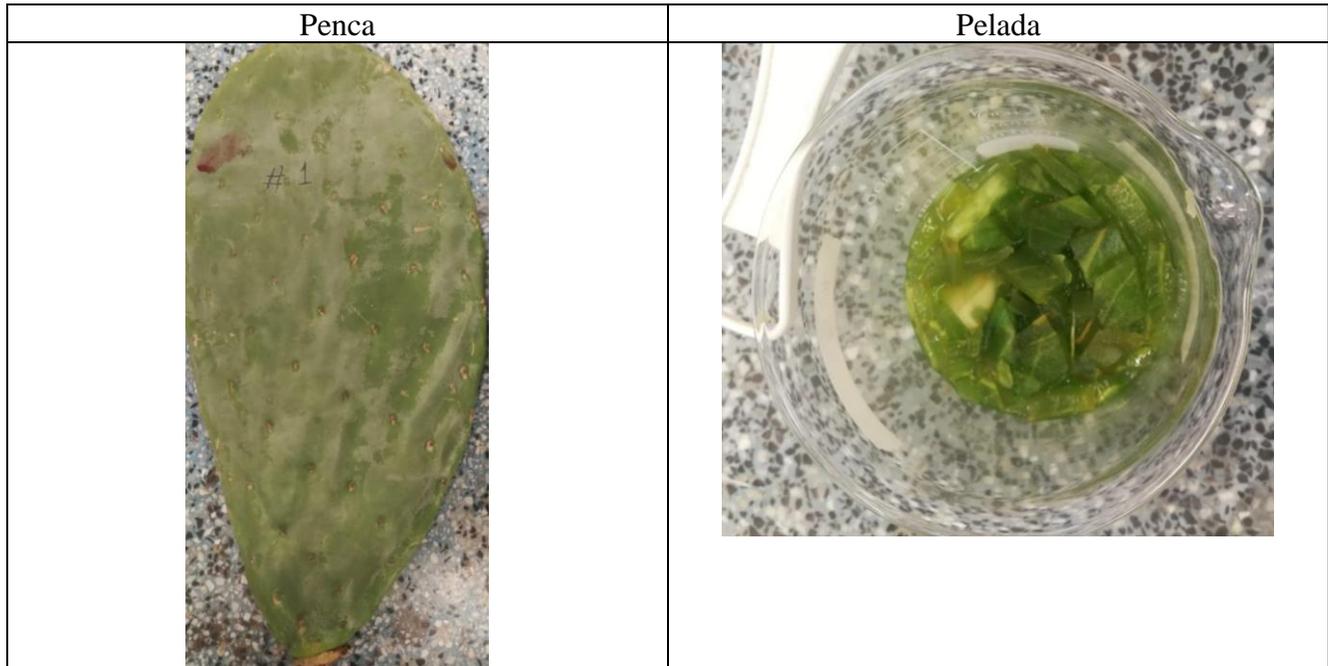
Fuente: Autores, 2018

8.2.2.2 Extracto de Nopal (*Opuntia ficus indica*)

Paso 1

Se pesó la penca del Nopal, luego se procedió a retirar la corteza con ayuda de un cuchillo de cocina para posteriormente seccionarlo en trozos pequeños en forma cubica; con el fin de facilitar su manipulación. Luego se pesó la cascara para determinar los residuos.

Tabla 24. Ilustraciones de la penca y el pelado

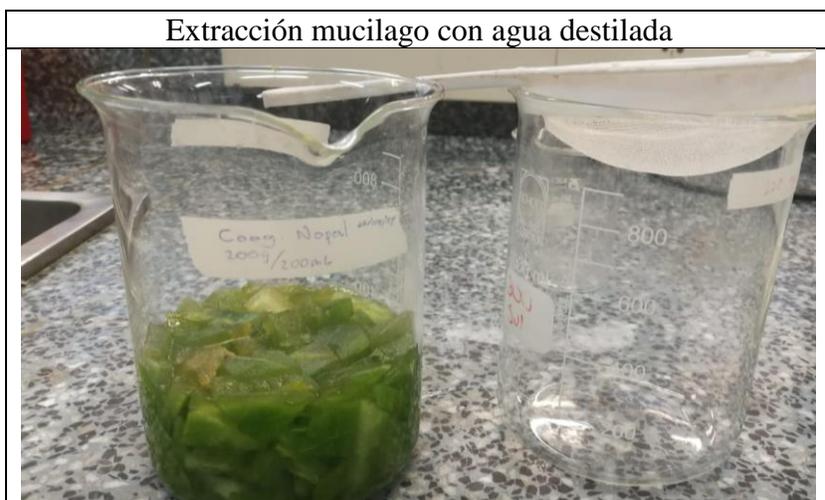


Fuente: Autores, 2018

Paso 2

se pesaron con la balanza analítica, 500g de los trozos obtenidos, los cuales fueron ulteriormente dispuestos en un Becker de 1L donde se vertieron 200mL de agua destilada. Con el fin de extraer el mucilago del nopal.

Tabla 25. Ilustración mucilago con agua destilada

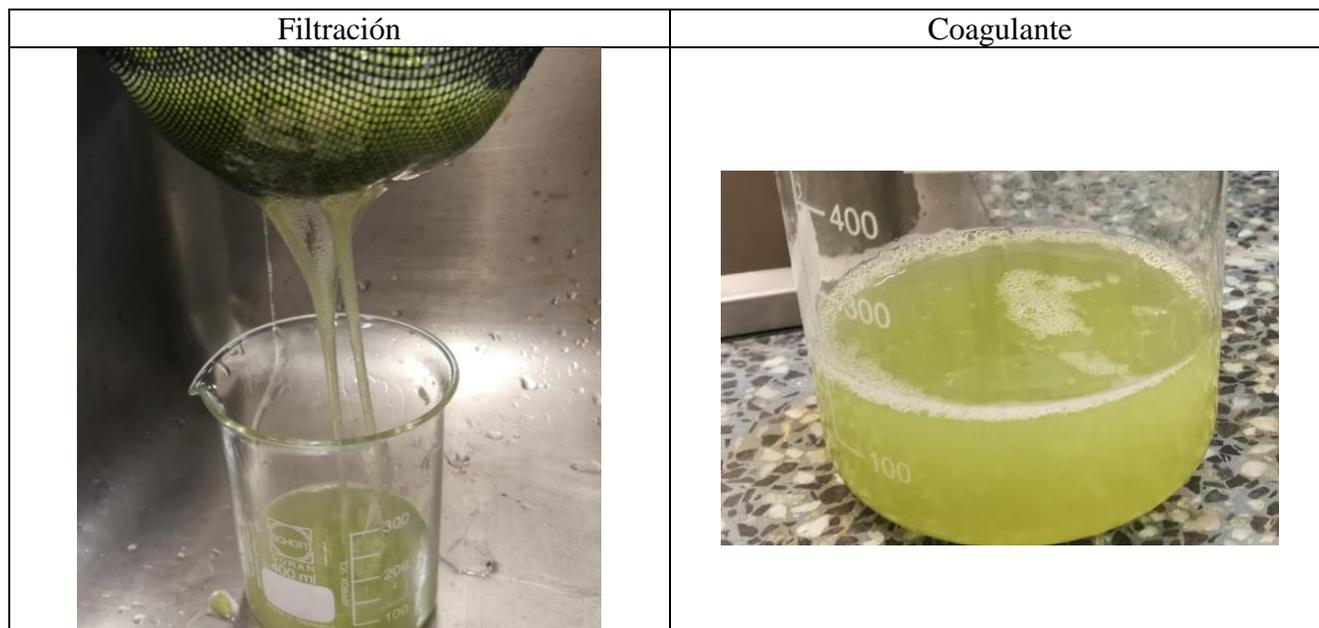


Fuente: Autores, 2018

Paso 3

Allí se dejaron reposar los trozos de pulpa por un periodo de 48 h, por último, mediante un proceso simple de filtración utilizando un cedazo de cocina se procedió a obtener el mucílago. Para luego determinar la biomasa restante. El coagulante fue almacenado en una botella color ámbar para su ulterior uso.

Tabla 26. Ilustraciones del filtrado y coagulante final



Fuente: Autores, 2018

Concentración coagulante de nopal

Basándonos en la metodología de extracción del coagulante de nopal, se utilizó 500 gr de lo que se extrajo del interior de la penca y luego se procedió a verter 200 ml de agua destilada. Para así, luego de dejarlo reposar 48 horas se extrajo el mucilago de nopal, lo cual se utilizó como coagulante. Debido a que solo el mucilago iba a ser utilizado como coagulante lo demás no se utilizó. De acuerdo con esto se pesaron los 500 gr iniciales luego de extraído el mucilago para determinar la concentración como se muestra a continuación.

Peso inicial= 500 gr

Peso final= 461 gr

Peso mucilago extraído= 39 gr

$$\text{Concentración} = \frac{39 \text{ gr}}{200 \text{ ml}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ gr}} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} = 195,000 \text{ ppm}$$

Luego se realizó el test de jarras, para mayor detalle revisar el ANEXO 29

Dosis coagulante de nopal

Tabla 27. Dosis coagulante de Nopal

Concentración (mg/L)	Dosis (mL)
100	0,5
150	0,8
200	1
250	1,3
300	1,5

Fuente: Autores, 2018

8.2.3 Muestra inicial

Se midieron los parámetros determinados en la metodología, siguiendo el paso a paso para la obtención de los datos necesitados como se observa en la tabla 28.

Tabla 28. Parámetros iniciales efluente industria

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
pH	11.02	11.02	11.02	11.02
NTU	87.4	87.4	87.4	87.4

Conductividad (µs/cm)	1920	1925	1923	1923
DQO (mg/L)	318	332	324	325
Color (PCU)	646	646	646	646
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	615	550	582,5	582.5
Sólidos sedimentables (mg/L)	3	2.8	2,95	2.95

Fuente: Autores, 2018

Debido a que se le adiciono a la muestra inicial HCl para realizar las pruebas de laboratorio a pH once, ocho y tres; se decidió medir la DQO puesto que esta podría generar una variación en su valor inicial al adicionarle a la muestra un producto químico adicional, los datos hallados se evidencian en la tabla 29.

Tabla 29. Tabla DQO a distintos pH

PH	DQO
11	325 mg/L
8	413 mg/L
3	525 mg/L

Fuente: Autores, 2018

Tras efectuar los respectivos ensayos de jarras, se tomará una muestra del sobrenadante correspondiente a cada una de las jarras con las dosis de coagulante estipuladas en la tabla 30.

Tabla 30. Proporción de volúmenes para el montaje de los ensayos de jarras.

Coagulante Moringa			Coagulante Nopal		
Dosis (ppm)	Alícuota del extracto (mL)	Total (L)	Dosis (ppm)	Alícuota del extracto (mL)	Total (L)
100	5	1	100	0,5	1
150	7,5	1	150	0,8	1
200	10	1	200	1,00	1
250	12.5	1	250	1,3	1
300	15	1	300	1,5	1

Fuente: Autores, 2018

La jarra con la dosis que evidenciaba, según observación directa, una cantidad más pronunciada de flocs sedimentados; fue tomada como la muestra a analizar en pruebas de laboratorio mencionadas en la metodología. Esto corroborándolo con un análisis del comportamiento de la turbidez en cada ensayo

realizado y simultáneamente al pH; pues los análisis de los parámetros fueron realizados en medios alcalino, neutro y ácido con el fin de registrar la capacidad coagulante del respectivo extracto con variaciones en el pH de la muestra. Los resultados son mostrados a continuación.

8.2.4 Resultados moringa

8.2.4.1 Residuos generadores por la moringa

Peso inicial moringa con cascara = 14,88 gr

Peso final moringa sin cascara = 10,38 gr

Residuos de cascara = 14,88 gr – 10,38 gr

Residuos de cascara = 4,5 gr

Dado que la metodología de obtención del coagulante hablaba acerca del extracto de moringa, se cogió las semillas ya sin cascara y se molieron, para luego ser tamizadas y pesadas hasta los 4 gr de polvo para diluirlo en 200 ml de NaCl a 1 M. El cuál sería el coagulante natural que se utilizaría.

Peso polvo sin tamizar = 10,38 gr

Peso final polvo tamizado = 4 gr

Peso polvo que no se utilizó = 6,38 gr

Para la generación de residuos total se sumaron el peso de los residuos de cascara y el peso de polvo que no se utilizó.

Total residuos = 4,5 gr + 6,38 gr

Total residuos = 10,88 gr

$$\frac{14,88 \text{ gr} - 10,88 \text{ gr}}{14,88 \text{ gr}} \times 100 = 26,9\%$$

Se encontró que, para la fabricación del coagulante natural de moringa, se generan gran cantidad de residuos. Puesto que según el porcentaje de que se utilizó de la semilla, el cual fue 26,9%, indica que se obtendría poco coagulante de grandes cantidades de materia prima extrayendo solo este porcentaje para lo que sería utilizado como coagulante.

8.2.4.2 Curva de turbidez

Se tomaron datos del comportamiento de la turbidez para determinar cuál sería la dosis para analizar posteriormente, teniendo en cuenta los parámetros estipulados en la metodología del trabajo para los análisis de laboratorio. Para ver los ensayos por triplicado ir al ANEXO 7, 10, 13.

Tabla 31. Curva de turbidez moringa

Dosis Mg/L	PROMEDIO NTU pH 11	PROMEDIO NTU pH 8	PROMEDIO NTU pH 3
0	87,4	87,4	87,4
100	102	84,9	44,1
150	101,6	90,9	36,7
200	98,7	94	35,1
250	96,7	99,6	30,7
300	91	103,7	29,5

Fuente: Autores, 2018

Al realizar el control de la turbidez para cada uno de los ensayos de jarras efectuados, se observó que para un medio alcalino (pH 11) la dosis que arrojó un menor valor de turbidez fue la de 300 mg/L, seguido de una dosis de 100 mg/L para medio neutro (pH 8) y una dosis de 300 mg/L para medio ácido (pH 3) como se observa en la tabla 31.

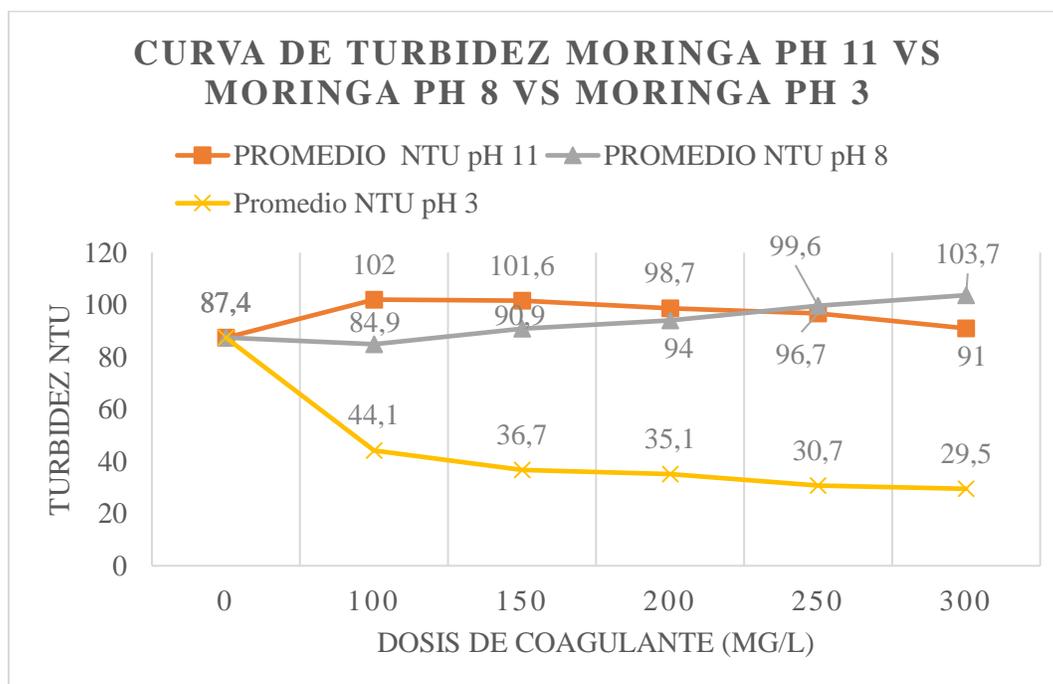


Figura 14. Grafica Curvas de turbidez para medio alcalino, neutro y ácido

Fuente: Autores, 2018

En la turbidez del medio alcalino, se observó un aumento, teniendo como pico la dosis de 100 mg/L con un valor de 102 NTU; y a medida que la dosis de coagulante iba aumentando tal y como se observa en la figura 14, la turbidez iba disminuyendo, pero manteniéndose por encima del valor inicial. En el medio neutro, el comportamiento de la turbidez fue de un aumento directamente proporcional a la concentración de la dosis aplicada, con un valor máximo de 103,7 NTU. Seguido se observó, en contraste, que en el medio ácido el comportamiento de la turbidez fue inversamente proporcional con respecto a la concentración de la dosis de coagulante aplicada, en donde el valor mínimo se observó en la dosis de 300 mg/L con 29,5 NTU.

8.2.4.3 Curva de pH

El promedio de cada ensayo de jarras en pH 11, 8 y 9 se pueden observar en los ANEXOS 8,11,14

Tabla 32. Curva de pH moringa

Dosis mg/L	PROMEDIO PH 11	PROMEDIO PH 8	PROMEDIA pH 3
0	11	8	3
100	11,18	7,96	3,08
150	11,15	8,03	3,05
200	11,13	8,06	3,08
250	11,1	8,11	3,11
300	11,09	8,13	3,09

Fuente: Autores, 2018

El valor de pH de la muestra se mantuvo estable como se puede observar en la figura 15 y la tabla 32 lo que indica que la adición del extracto de coagulante no altera los niveles de pH de la muestra tratada.

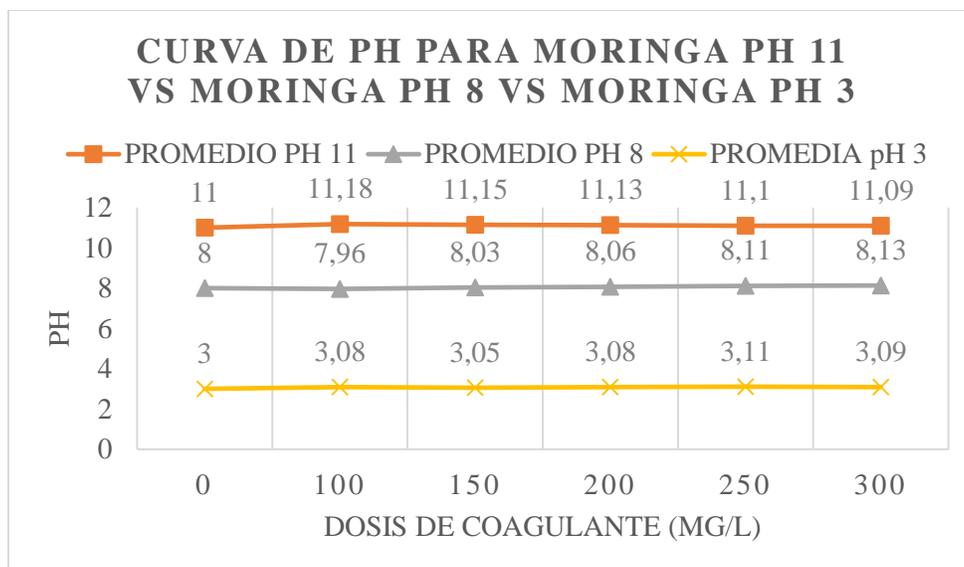


Figura 15. Curva de pH en medio alcalino con extracto de Moringa. Fuente: Autores, 2018

8.2.4.4 pH optimo

Al comparar los valores finales de turbidez con respecto al medio en el cual se efectuaron los ensayos de jarras, se determinó, según la tabla 33 y la figura 16; que el medio en el cual se desempeñó mejor el coagulante de *Moringa Oleífera* fue el medio ácido con un pH de 3.

Tabla 33. pH optimo según remoción de turbidez de moringa

pH	Turbidez (NTU) inicial	Turbidez (NTU) final
11	87,4	91,0
8	87,4	84,9
3	87,4	29,5

Fuente: Autores, 2018

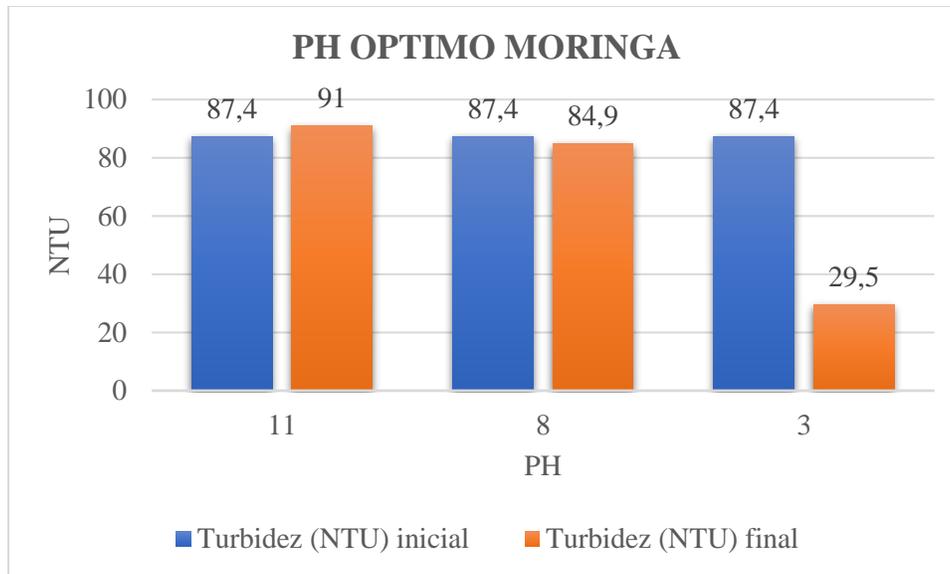


Figura 16. Grafica de remoción de turbidez variando el pH. Fuente: Autores, 2018

Se evidencio a partir de la figura 16 que, en el ensayo de moringa en medio ácido, el extracto fue capaz de desestabilizar las cargas de los coloides generando así flocs los suficientemente grandes como para precipitarse por acción de la gravedad y por ende una disminución mucho más pronunciada en cuanto a la turbidez. Mientras que, en el medio neutro y alcalino, se puede decir que el coagulante no tuvo efecto en cuanto a la remoción de turbidez pues dichas partículas generadas tras la adición del extracto, no se precipitaron en la fase de sedimentación de los ensayos de jarras; causando así un aumento en la totalidad de las partículas suspendidas.

8.2.4.5 Parámetros de la muestra tratada con porcentajes de remoción

A cada una de las muestras de agua con la dosis que presentó el valor mínimo en cuanto a turbidez, se le efectuaron pruebas de laboratorio para determinar los valores de los parámetros estipulados en la metodología del trabajo y se procedió a tabular dichos datos como se observa en la tabla 34. Para ver los promedios de porcentajes de remoción remitirse a los ANEXOS 9,12,15

Tabla 34. Agua después del ensayo de jarras con la moringa

Parámetro	Parámetros iniciales pH 11	Promedio final ensayos pH 11	Porcentaje de remoción pH 11	Parámetros iniciales pH 8	Promedio final ensayos pH 8	Porcentaje de remoción pH 8	Parámetros iniciales pH 3	Promedio final ensayos pH 3	Porcentaje de remoción pH 3
pH	11,02	11,1	0%	8	8	0%	3	3,09	0%
NTU	87,4	90,4	0%	87,4	85,1	2,60%	87,4	29,5	66,20%

Conductividad (µs/cm)	1923	0,946	99,90%	1923	0,62	99,97%	1923	0.187	99,99%
DQO (mg/L)	325	250	23,08%	413	334,7	19%	525	391	25,50%
Color (PCU)	646	715	0%	646	689,3	0%	646	242	62,50%
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	582.5	975,1	0%	582.5	490,8	15,74%	582.5	147	74,80%
Lodos (mg/L)	-	108,1	-	-	186	-	-	214	-

Fuente: Autores, 2018

La muestra de agua tratada con extracto de Moringa en un medio ácido fue la única muestra que presentó remoción en cuanto a la totalidad de los parámetros contemplados. Para SST, se presentó una remoción del 74,8 % en contraste con las del medio neutro y alcalino que presentaron porcentajes de 15,74% Y 0% respectivamente como se observa en la figura 17.

En cuanto a la DQO, se encontró que existió una remoción para medio alcalino, neutro y ácido de 23,08%; 19% y 25,50% respectivamente. A pesar de que la capacidad de remoción para el parámetro de DQO fue de un porcentaje relativamente bajo, se evidenció que la Moringa fue capaz de degradar sustancias inorgánicas presentes en la muestra de agua del efluente industrial.

En cuanto al color, el agua tratada en medio ácido presentó una remoción del 62,50 % en contraste con las pruebas en medio alcalino y neutro que no presentaron remoción para este parámetro como se observa en la figura 17. El aumento de este parámetro para los medios alcalino y básico respectivamente se debe a que, tras efectuar el tratamiento de la muestra con el extracto, se aumentó la cantidad de sólidos suspendidos en el agua y por ende su dispersión en la totalidad de la muestra. Y al tratarse de un método óptico, el haz de luz emitido por el medidor de color presenta una interferencia mayor a causa del aumento de estas partículas suspendidas lo cual dispersa en mayor medida el paso de luz.

Siguiente a esto, se observó una disminución en los niveles de conductividad para todos los escenarios; presentando valores de disminución, para el medio ácido, de 99,99 % y para el medio neutro y alcalino de 99,70 % y 99,90 % respectivamente.

En cuanto a la producción de lodos, a pesar de que las muestras tratadas en medio alcalino y neutro mostraron una producción mínima con valores de 108,1 mg/L y 186 mg/L respectivamente; en contraste con la producción en medio ácido con un valor de 214 mg/L respectivamente; se denota que debido a la degradación de materia inorgánica por los agentes activos del extracto (disminución de DQO), hubo una pequeña producción de lodos que posiblemente se debió a dicha degradación de materia proveniente de la adición de distintos tipos de químicos en el agua característica de la industria textil.

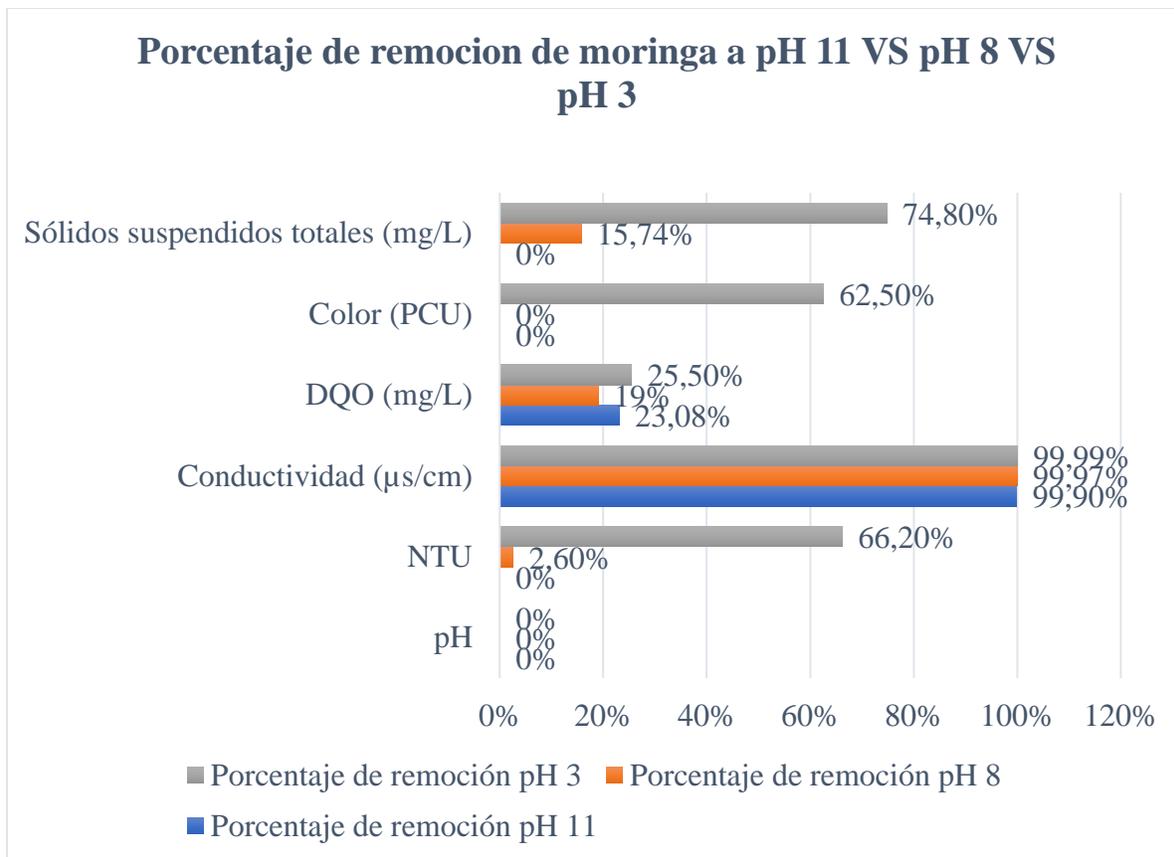


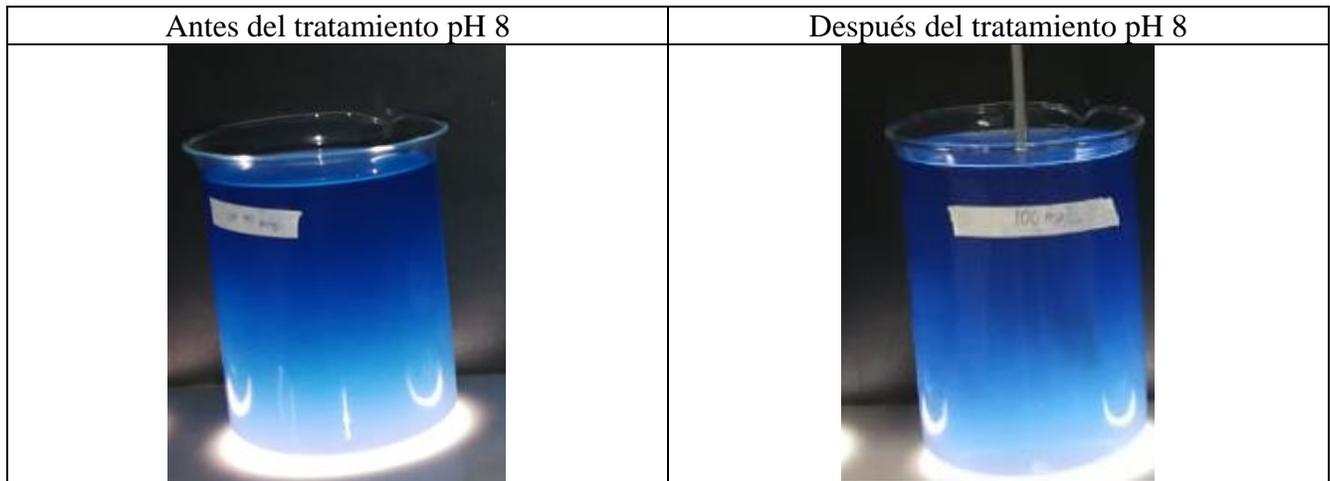
Figura 17. Grafica porcentajes de remoción moringa. Fuente: Autores, 2018

Tabla 35. Ilustración ensayo de jarras pH 11

Ensayo de jarras antes de tratamiento pH 11	Ensayo de jarras después de tratamiento pH 11
	

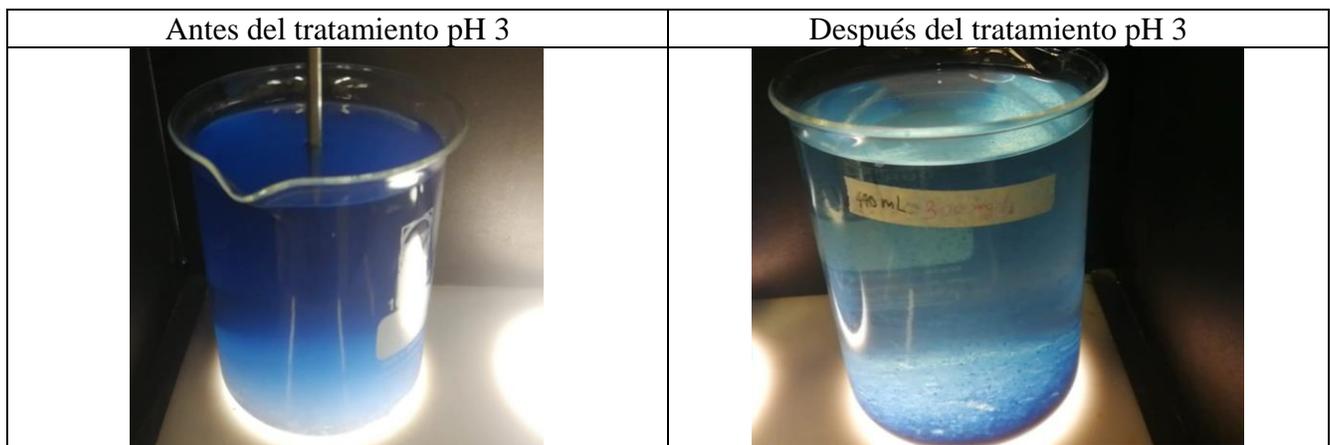
Fuente: Autores, 2018

Tabla 36. Ilustraciones ensayo de jarras pH 8



Fuente: Autores, 2018

Tabla 37. Ilustraciones ensayo de jarras pH 3



Fuente: Autores, 2018

8.2.5 Resultados nopal

8.2.5.1 Residuos generadores por el nopal

Peso inicial penca con cascara = 1021,65 gr

Peso final penca sin cascara = 500 gr

Residuos de cascara = 1021,65 gr – 500 gr

Residuos de cascara = 521,65 gr

Según la metodología se vertieron 200 ml de agua destilada en 500 gr de nopal ya pelada, con el fin de extraer el mucilago de nopal, se pesaron antes y después de la extracción del nopal para así determinar el porcentaje que se extrajo de mucilago

Peso materia prima = 500 gr

Peso final materia prima = 461 gr

Mucilago de nopal = 39 gr

Para la generación de residuos total se sumaron el peso final de materia prima y el peso de los residuos generados.

Total residuos = 461 gr + 521,65 gr

Total residuos = 982,65 gr

$$\frac{1021,65 \text{ gr} - 982,65 \text{ gr}}{1021,65 \text{ gr}} \times 100 = 3,8\%$$

Se determinó que el material necesitado (mucilago de nopal), es del 3,8 %, lo que significa que, para una penca de más de un kilo, el porcentaje de mucilago presente en la penca es aproximado de 3,8 %, lo que indica que a nivel económico no es rentable puesto que de una penca solo se obtuvo un pequeño porcentaje de mucilago, a cambio de generar una gran cantidad de residuos.

8.2.5.2 Curva de turbidez

Para el Nopal, de igual manera, se tomaron datos del comportamiento de la turbidez para determinar cuál sería la dosis óptima para analizar posteriormente, teniendo en cuenta los parámetros estipulados en la metodología del trabajo para los análisis de laboratorio. Los promedios de turbidez de cada ensayo ver en ANEXOS 16, 19, 22.

Tabla 38. Curva de turbidez Nopal

Dosis mg/L	PROMEDIO NTU pH 11	PROMEDIO NTU pH 8	PROMEDIO NTU pH 3
0	87,4	87,4	87,4
100	88	92,9	82,3
150	98,6	92,2	81,7
200	91,7	92,7	81,7
250	89,8	92,6	81,1
300	90,2	89	79,5

Fuente: Autores, 2018

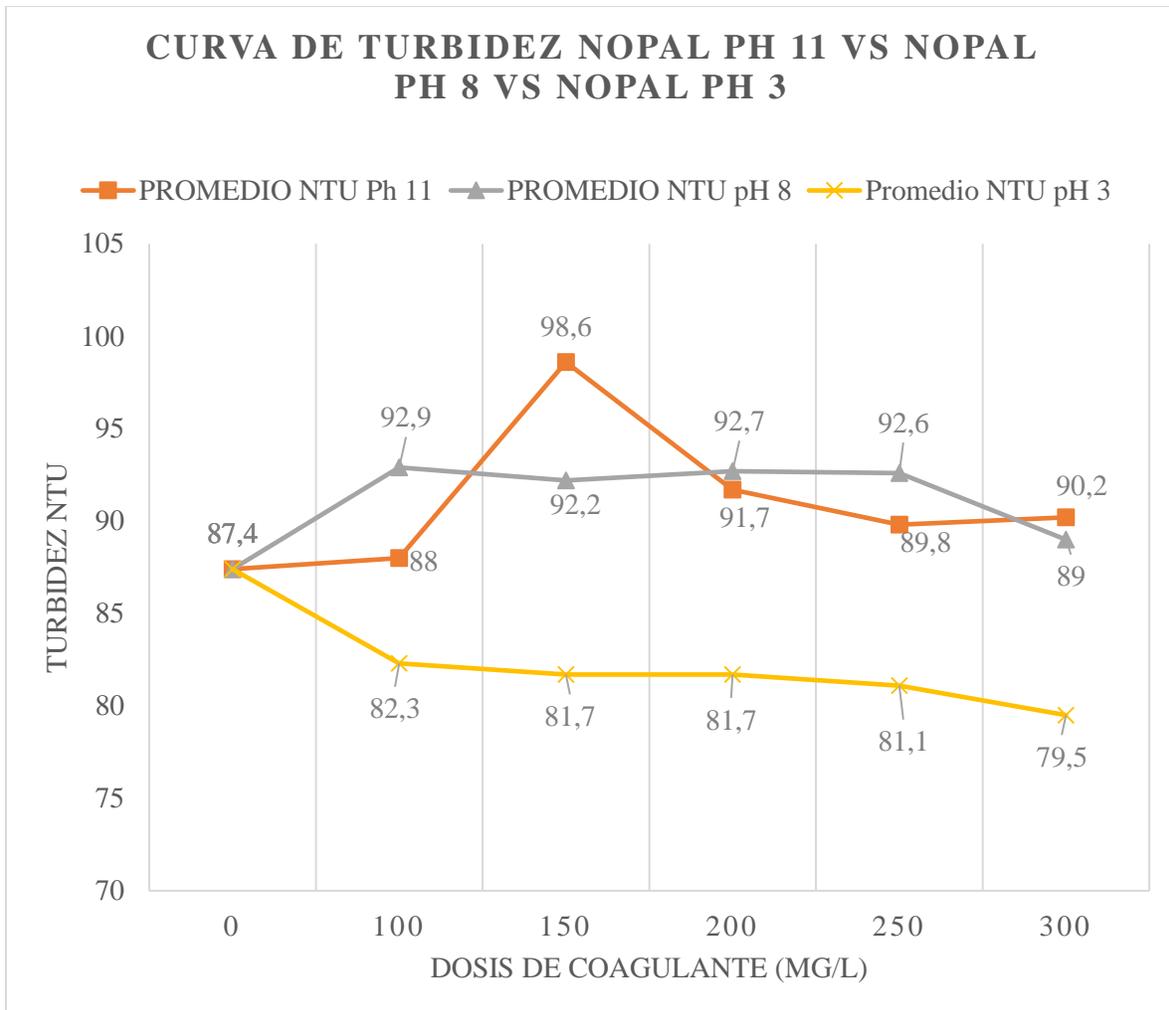


Figura 18. Grafica curva de turbidez nopal. Fuente: Autores, 2018

Al realizar el control de la turbidez para cada uno de los ensayos de jarras efectuados, se observó de acuerdo a la figura 18, que para un medio alcalino (pH 11) la dosis que arrojó un menor valor de turbidez fue la de 100 mg/L, seguido de una dosis de 100 mg/L para medio neutro (pH 8) y una dosis de 300 mg/L para medio ácido (pH 3) como se observa en la tabla 36.

8.2.5.3 Curva de pH

Los ensayos de jarras por pH se pueden ver en los ANEXOS 17, 20, 23.

Tabla 39. Curva de pH Nopal

Dosis mg/L	PROMEDIO pH 11	PROMEDIO pH 8	PROMEDIO pH 3
0	11	8	3
100	11,03	8,03	3,05
150	11,02	8,06	3,05
200	11,07	8,05	3,08
250	11,07	8,06	3,12
300	11,04	8,07	3,06

Fuente: Autores, 2018

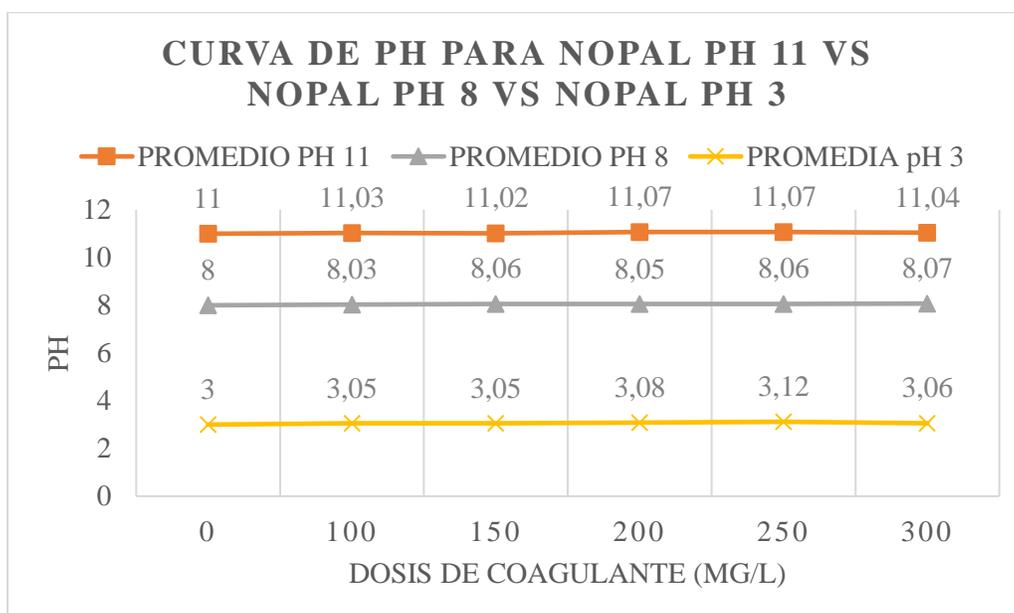


Figura 19. Grafica curva de pH

El valor de pH de la muestra se mantuvo estable como se puede observar en la figura 19 y la tabla 39 lo que indica que la adición del extracto de coagulante no altera los niveles de pH de la muestra tratada.

8.2.5.4 PH optimo nopal

Tabla 40. pH optimo según remoción de turbidez de nopal

pH	Turbidez (NTU) inicial	Turbidez (NTU) final
11	87,4	88,0
8	87,4	89,0
3	87,4	79,5

Fuente: Autores, 2018

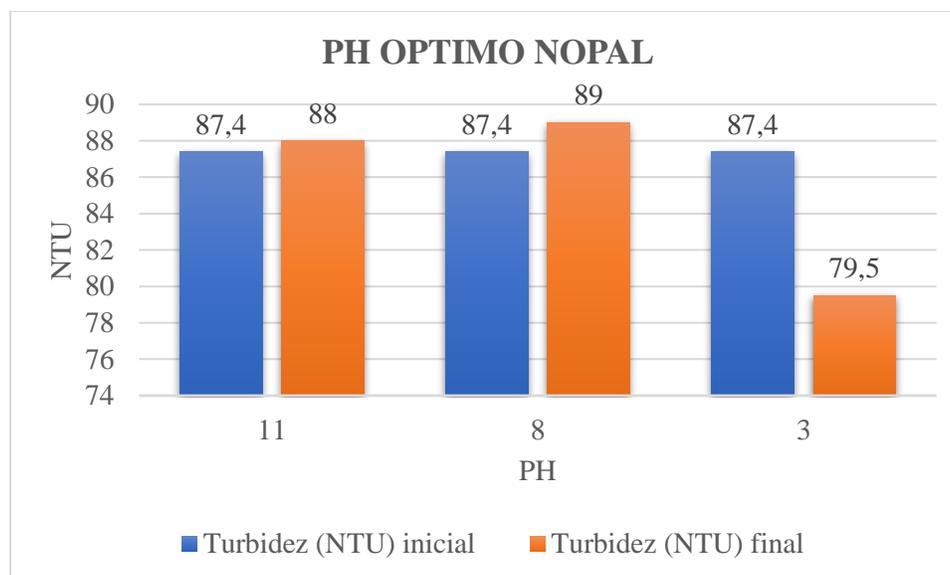


Figura 20. pH optimo del nopal. Fuente: Autores, 2018

Se evidenció en la figura 20 que la actividad coagulante era casi nula para los tres medios en los cuales se analizó el extracto de Nopal. Para medio alcalino (pH 11), la turbidez aumentó de 87,4 NTU a 88,0 NTU; para medio neutro (pH 8) se reportó también un aumento en la turbidez de 87,4 NTU a 89,0 NTU. Por otro lado, para medio ácido (pH 3) se reportó una disminución de 87,4 NTU a 79,5 NTU; siendo el medio ácido, el único de los tres medios, en presentar un nivel más bajo de turbidez que el valor inicial como se observa en la figura 20, tras efectuar el ensayo de jarras.

8.2.5.5 Parámetros de la muestra tratada con porcentajes de remoción

A cada una de las muestras de agua con la dosis que presentó el valor mínimo en cuanto a turbidez, se le efectuaron pruebas de laboratorio para determinar los valores de los parámetros estipulados en la metodología del trabajo y se procedió a tabular dichos datos como se observa en la tabla 41. Para observar los porcentajes de remoción promedio del coagulante de nopal ver ANEXOS 18, 21, 25.

Tabla 41. Agua después del ensayo de jarras con la Nopal

Parámetro	Parámetros iniciales pH 11	Promedio final ensayos pH 11	Porcentaje de remoción pH 11	Parámetros iniciales pH 8	Promedio final ensayos pH 8	Porcentaje de remoción pH 8	Parámetros iniciales pH 3	Promedio final ensayos pH 3	Porcentaje de remoción pH 3
pH	11,02	11	0%	8	8	0%	3	3,1	0%
NTU	87,4	88	0%	87,4	89	0%	87,4	79,5	9%
Conductividad (µs/cm)	1923	0,661	99,96%	1923	0,605	99,96%	1923	0,245	99,98%
DQO (mg/L)	325	330	0%	413	322,6	21,90%	525	274	47,80%
Color (PCU)	646	845	0%	646	541,3	16,20%	646	475,3	26,40%
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	582,5	560,5	3,2%	582,5	557,3	4,3%	582,5	280,1	51,90%
Lodos (mg/L)	-	107,1	-	-	134	-	-	351,5	-

Fuente: Autores, 2018

Las muestras de agua tratada con extracto de Nopal, no presentó una capacidad de remoción, significativa en ninguno de los tres medios analizados. En cuanto a la turbidez, solo el medio ácido presentó remoción de 9%, mientras que los medios alcalino y neutro presentaron remociones del 0% para ambos casos. Antes los valores aumentaron debido a que la acción coagulante del extracto suspendió los sólidos disueltos en la muestra de agua.

En cuanto a la conductividad, para todos los escenarios analizados, se reportó una disminución medio ácido de 99,98%, para medio neutro de 99,96 % y para medio alcalino de 99,96 %. Lo anterior se debe a que el coagulante generó una modificación en las cargas de las partículas coloidales disueltas en el agua, lo cual conlleva a una aglomeración, de una fracción de los sólidos disueltos de la muestra; convirtiéndose así en coloides adheridos a los flocs generados por acción del coagulante.

Para los SST, se presentó una remoción, en medio ácido, del 51,9 %, seguido de una remoción en medio neutro y alcalino de 4,3% y 3,2 % respectivamente; tal y como se observa en la figura 21. Dicho aumento pudo haberse debido a que los flocs que no sedimentaron dejaron de estar disueltos para convertirse en suspendidos por la aglomeración de los coloides livianos.

Para la prueba de medio alcalino, se evidenció un aumento del color tras el tratamiento de la muestra de agua, puesto que este parámetro está relacionado con el aumento de las partículas suspendidas. Dicho aumento está relacionado, al igual que con la Moringa, a la interferencia del paso de la luz emitida por el mecanismo del multiparámetro medidor de color utilizado en el presente trabajo. El agua tratada en medio ácido presentó una remoción del 26,40 % en contraste con las pruebas en medio alcalino y neutro que presentaron remoción, para este parámetro, de 16,20 % y 0 % respectivamente. Tal y como se observa en la figura 21.

Para la DQO se observó una remoción del 47,8 % para el medio ácido, seguido de una remoción para medio neutro y alcalino de 21,90% y 0% respectivamente. Esto relacionado con la producción de lodos, que fue para medio ácido, neutro y alcalino; de 351,5 mg/L, 134,0 mg/L y 107,1 mg/L respectivamente, puede deberse a que dichos porcentajes de remoción de DQO representan fracciones degradadas de materia inorgánica presente en el agua por la adición de diferentes sustancias químicas propias de este tipo de agua.

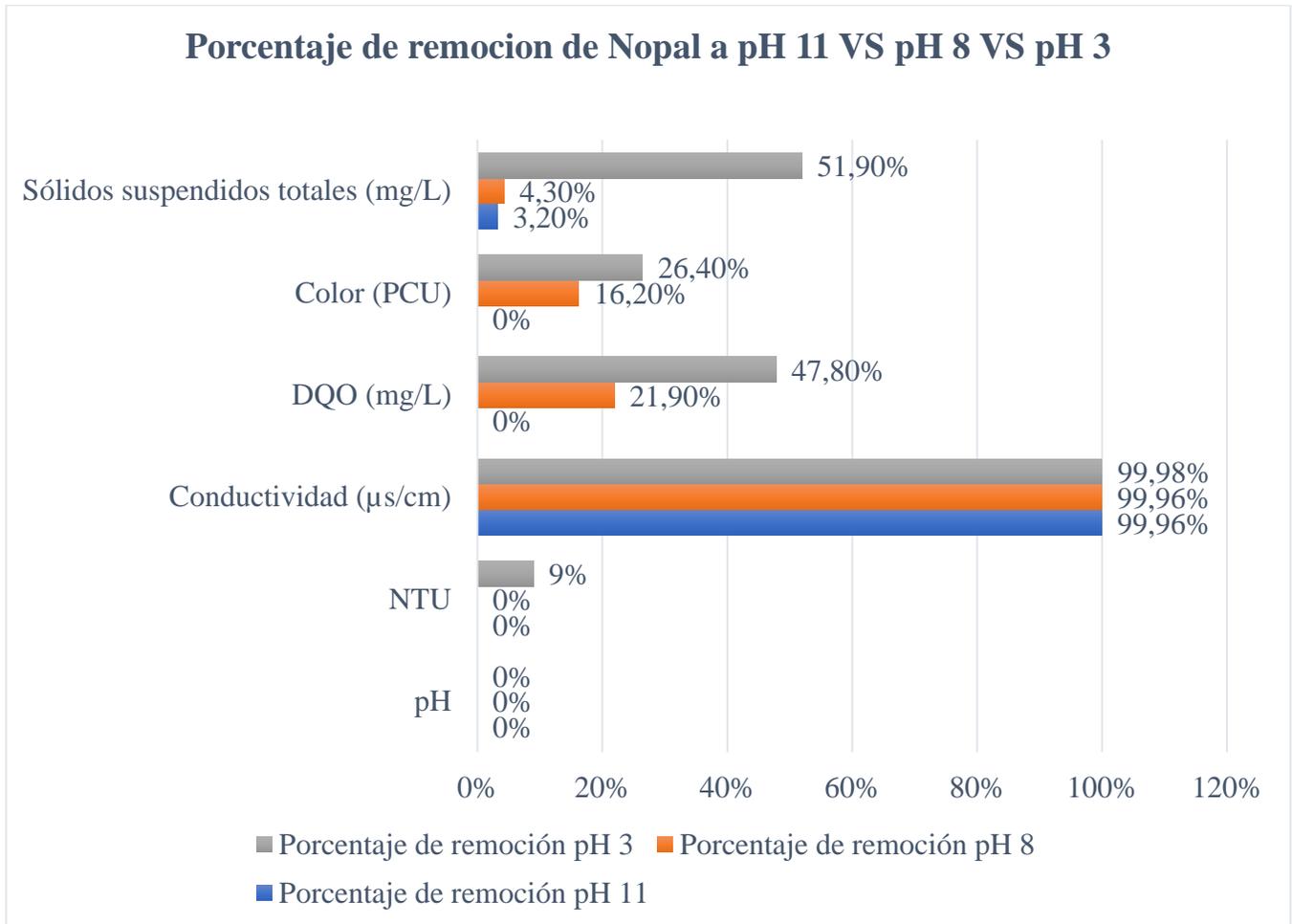


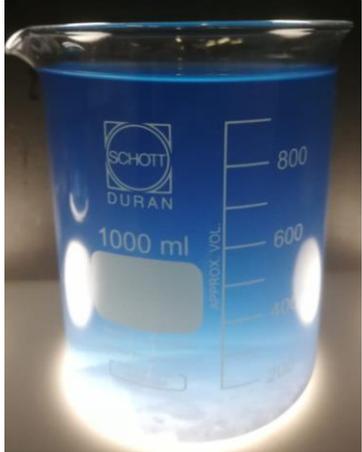
Figura 21. Porcentaje de remoción nopal. Fuente: Autores, 2018

Tabla 42. Ilustraciones ensayo de jarras nopal pH 11

Ensayo de jarras antes de tratamiento pH 11	Ensayo de jarras después de tratamiento pH 11
	

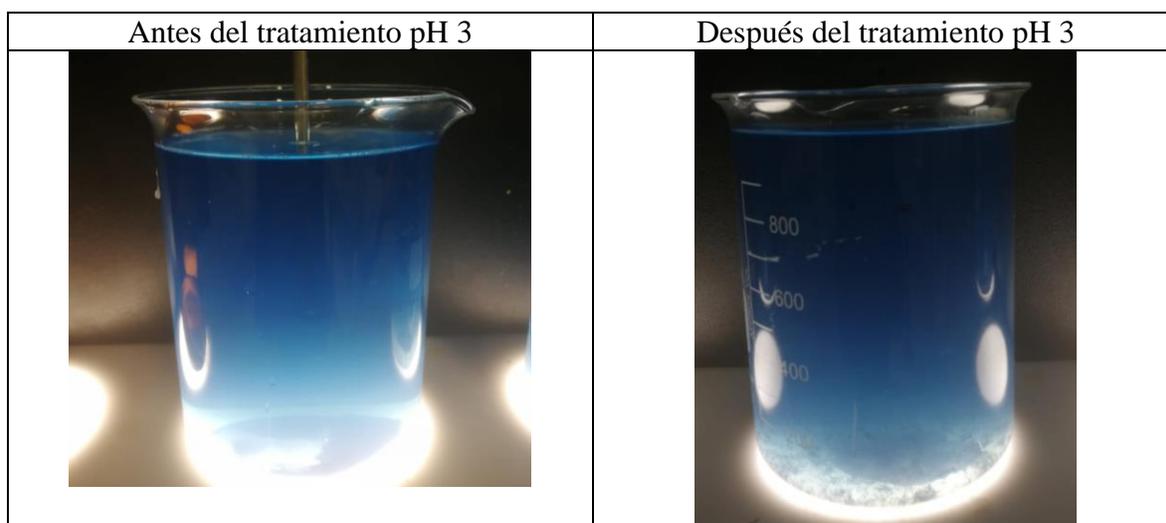
Fuente: Autores, 2018

Tabla 43. Ilustraciones ensayo de jarras nopal pH 8

Antes del tratamiento pH 8	Después del tratamiento pH 8
	

Fuente: Autores, 2018

Tabla 44. Ilustraciones ensayo de jarras nopal pH 3



Fuente: Autores, 2018

8.2.6 Moringa VS nopal

Según los resultados mostrados por ambos coagulantes naturales, se pudo observar que el medio ideal para ambos fue el ácido, ya que fue en donde ambos presentaron mayores índices de remoción. Es por este motivo que la comparativa de ambos coagulantes se realizó con el pH óptimo de 3.

8.2.6.1 Turbidez

Tabla 45. Comparativa curva de turbidez de los coagulantes naturales pH 3

Dosis mg/L	PROMEDIO NTU MORINGA	PROMEDIO NTU NOPAL
0	87,4	87,4
100	44,1	82,3
150	36,7	81,7
200	35,1	81,7
250	30,7	81,1
300	29,5	79,5

Fuente: Autores, 2018

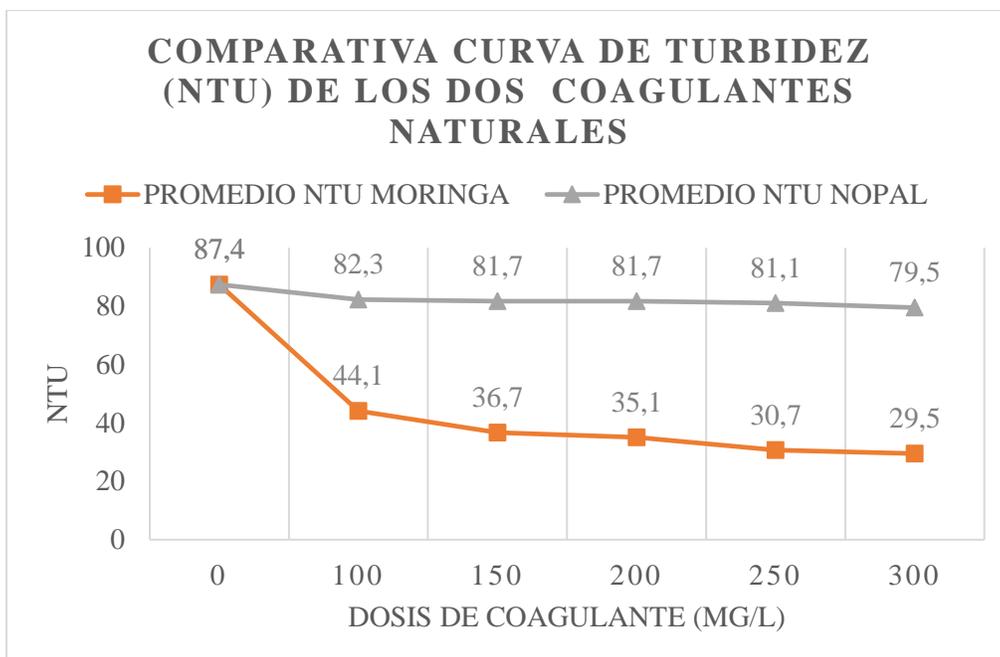


Figura 22. Grafica comparativa de turbidez de coagulantes naturales

Como se observa en la figura 22. El coagulante que genero una mayor disminuci3n en el medio acido, fue el coagulante natural de moringa oleifera que con la dosis optima hallada para ambos coagulantes de 300 mg/L, este logro una remoci3n de turbidez desde 87,4 NTU hasta 29.5 NTU, a diferencia del coagulante de nopal, que tambi3n genero una remoci3n, pero mucho menor llegando solo hasta una turbidez final de 79,5 NTU.

Para dar cumplimiento al objetivo numero dos se realizar3 la tabla comparativa de los dos coagulantes naturales y as3 determinar el mejor coagulante natural por su capacidad de remoci3n de carga contaminante

8.2.6.2 Par3metros comparativos

Tabla 46. comparativa entre los coagulantes naturales

Coagulante / Par3metro	Extracto de MO			Extracto de OP		
	Ini.	Fin.	Remoci3n (%)	Ini.	Fin.	Remoci3n (%)
pH	3	3,09	0%	3	3,1	0%
Turbidez (NTU)	87,4	29,5	66,2%	87,4	79,5	9%
Conduct. (µs/cm)	1923	0.187	99,99%	1923	0,245	99,98%

DQO (mg/L)	525	391	25,5%	525	274,0	47,8%
Color (PCU)	646	242	62,5%	646	475,3	26,4%
SST (mg/L)	582,5	147	74,8%	582,5	280,1	51,9%
Lodos	-	214	-	-	351,5	-
SS (mg/L)	2,95	-	-	2,95	-	-

Fuente: Autores, 2018

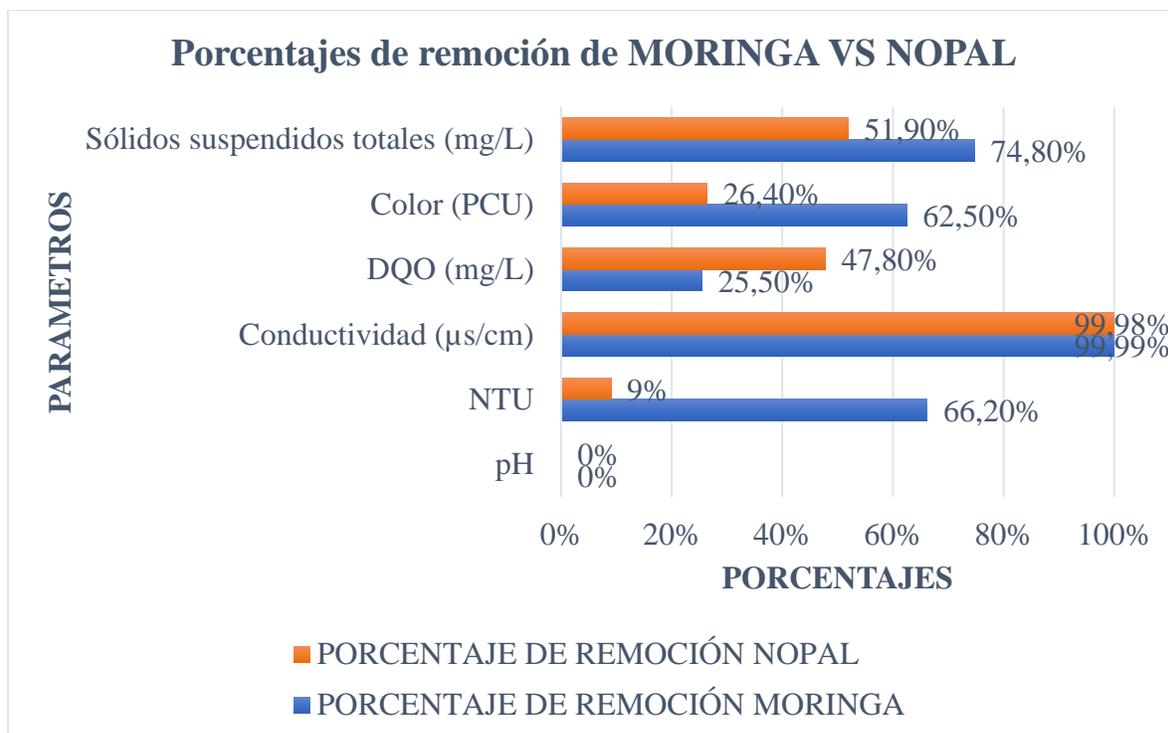


Figura 23. Grafica comparativa parámetros. Fuente: Autores, 2018

De acuerdo con la comparativa presentada en la figura 23, se pudo observar que ambos coagulantes naturales presentaron porcentajes de remoción de carga contaminante. A pesar de que ambos presentaron remoción, el que tuvo mejores índices de remoción, fue el coagulante de moringa superándolo ampliamente en los parámetros de sólidos suspendidos totales, color y NTU. Además de esto se observó que ambos coagulantes removieron DQO, pero el que presentó mejor porcentaje de remoción fue el coagulante de nopal, para este coagulante según la figura 21 gráfica, se observó que la disminución de DQO se comportaba directamente proporcional al pH, en cambio para el coagulante de moringa según la figura 17, el pH no influía en la disminución de este parámetro y el porcentaje se mantenía entre los mismos rangos. También se puede observar en la figura 23, que ninguno de los dos coagulantes naturales presentó disminución de pH y que ambos obtuvieron el mismo porcentaje de remoción de la conductividad.

Según lo descrito anteriormente, el coagulante que mejor capacidad de remoción de carga contaminante presentó para el tratamiento del agua residual de la empresa, fue el coagulante de moringa. De acuerdo con esto se escogió a la moringa como coagulante natural ganador.

Por otro lado, ambos coagulantes presentaron una mayor actividad coagulante en los ensayos realizados en el medio ácido, esto debido a que la carga superficial de la partícula sólida depende de la concentración de protones (H+) y, por tanto, del pH del agua y la concentración de protones disminuye con el aumento del pH, debido a que el equilibrio de las reacciones se desplaza hacia la derecha y la superficie sólida se torna más negativa. Para valores de pH superiores a 2, la sílice se torna negativa en el agua, mientras que los grupos carboxílico y amina generalmente se presentan negativos para valores de pH mayores que 4 (Barrenechea, 2004.) Lo que indica que, teniendo en cuenta que los coagulantes naturales obtuvieron un mejor desempeño en el medio ácido (pH 3); este resultado pudo haberse debido a que, en los medios neutro y básico, dichos grupos que posiblemente se encontraban presentes en la composición química del colorante (Primo, 1994) se tornaron con carga negativa y por ende aumentaron la cantidad de partículas coloidales en la totalidad de la muestra.

8.3 Objetivo 3

8.3.1 Resultados turbidez para la totalidad de los coagulantes

Dado que, al ya tener los datos de la moringa y el nopal gracias al objetivo 2, se puede ver los ANEXOS 26, 27 Y 28 para observar los datos obtenidos para el coagulante de sulfato de aluminio

Tabla 47. Turbidez sulfato VS Moringa VS Nopal

Dosis mg/L	PROMEDIO NTU SULFATO pH 7	PROMEDIO NTU MORINGA pH 3	PROMEDIO NTU NOPAL pH 3
0	87,4	87,4	87,4
100	42,7	44,1	82,3
150	7,2	36,7	81,7
200	2,5	35,1	81,7
250	1,1	30,7	81,1
300	0,8	29,5	79,5

Fuente: Autores, 2018

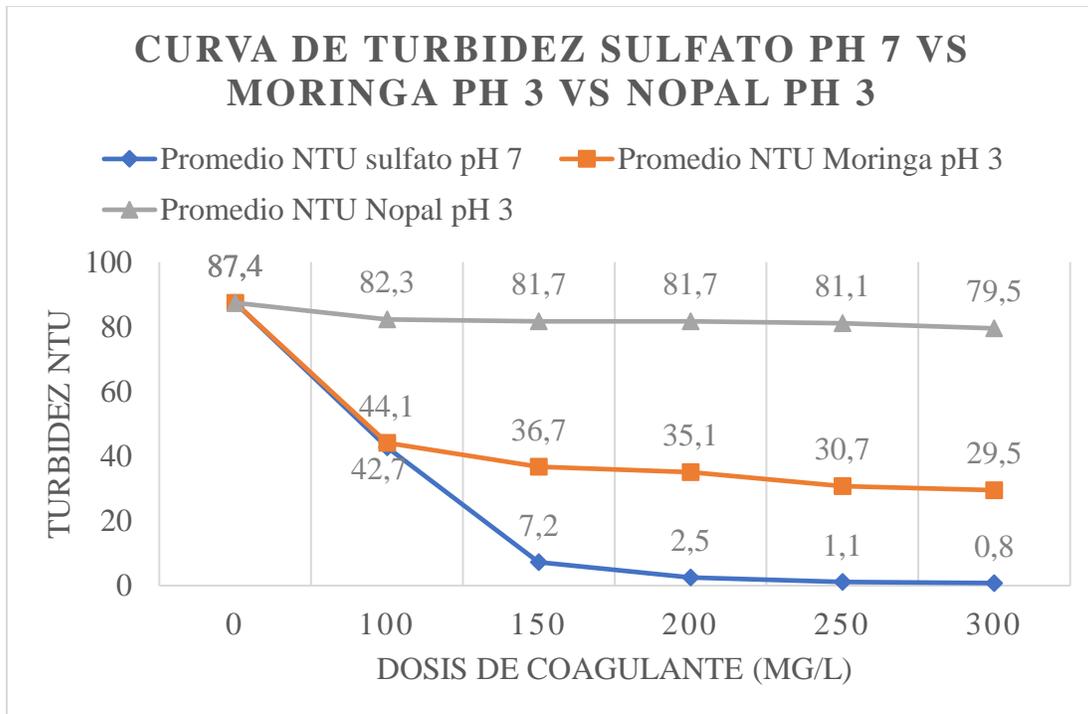


Figura 24. Grafica curva de turbidez de los tres coagulantes

Como se observa en la figura 24, el coagulante de sulfato presento mejores índices de remoción de NTU en comparación a la moringa, sin embargo, ambos coagulantes en la dosis de 100 mg /L mostraron una remoción de NTU muy similar siendo para sulfato de 42,7 NTU y para moringa de 44,1, pero a partir de esa dosis el coagulante de sulfato de aluminio genero una remoción mucho mayor a la de moringa

8.3.2 Resultado de pH para la totalidad de los coagulantes

Tabla 48. Curva pH para la totalidad de los coagulantes

Dosis mg/L	PROMEDIO pH 7 SULFATO	PROMEDIO pH 3 MORINGA	PROMEDIO NOPAL pH 3
0	7	3	3
100	5,9	3,08	3,05
150	4,8	3,05	3,05
200	4,2	3,08	3,08
250	4,3	3,11	3,12
300	4	3,09	3,06

Fuente: Autores, 2018

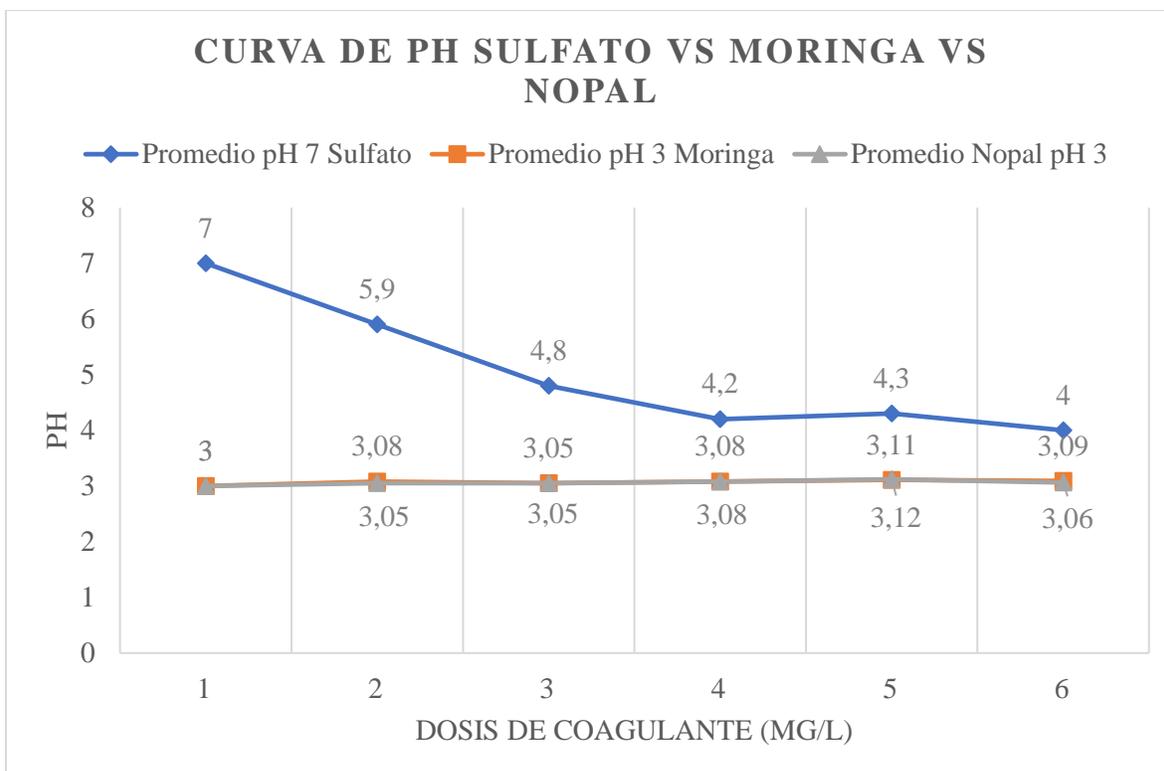


Figura 25. Grafica curva de pH para los tres coagulantes. Fuente: Autores, 2018

De acuerdo con la figura 25, se logró determinar que el coagulante químico (sulfato de aluminio) disminuyó considerablemente el pH, siendo inicialmente de pH neutro y finalizando con un pH ácido, además se puede observar que el pH a partir de las dosis de 200 mg/L se estabiliza en valores entre los rangos de pH 4.2 y pH 4, en comparación a la moringa que el pH en todas las dosis se mantuvo estable.

8.3.3 Parámetros de la muestra tratada para la totalidad de los coagulantes

Tabla 49. Porcentajes de remoción para la totalidad de los coagulantes

Parámetro	Parámetros iniciales para sulfato	Promedio final ensayos sulfato pH 7	Porcentaje de remoción sulfato pH 7	parámetros iniciales moringa pH 3	promedio final ensayos moringa pH 3	porcentaje de remoción moringa pH 3	Parámetros iniciales Nopal pH 3	Promedio final ensayos Nopal pH 3	Porcentaje de remoción Nopal pH 3
pH	7	4,3	38,60%	3	3,09	0%	3	3,1	0%
NTU	87,4	1,1	98,70%	87,4	29,5	66,20%	87,4	79,5	9%
Conductividad (µs/cm)	1923	0,437	99,97%	1923	0,187	99,99%	1923	0,245	99,98%
DQO (mg/L)	421	168,7	60%	525	391	25,50%	525	274	47,80%

Color (PCU)	646	27	95,80%	646	242	62,50%	646	475,3	26,40%
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	582,5	63	89,20%	582,5	147	74,80%	582,5	280,1	51,90%
Lodos (mg/L)	-	456,3	-	-	214	-	-	351,5	-

Fuente: Autores, 2018

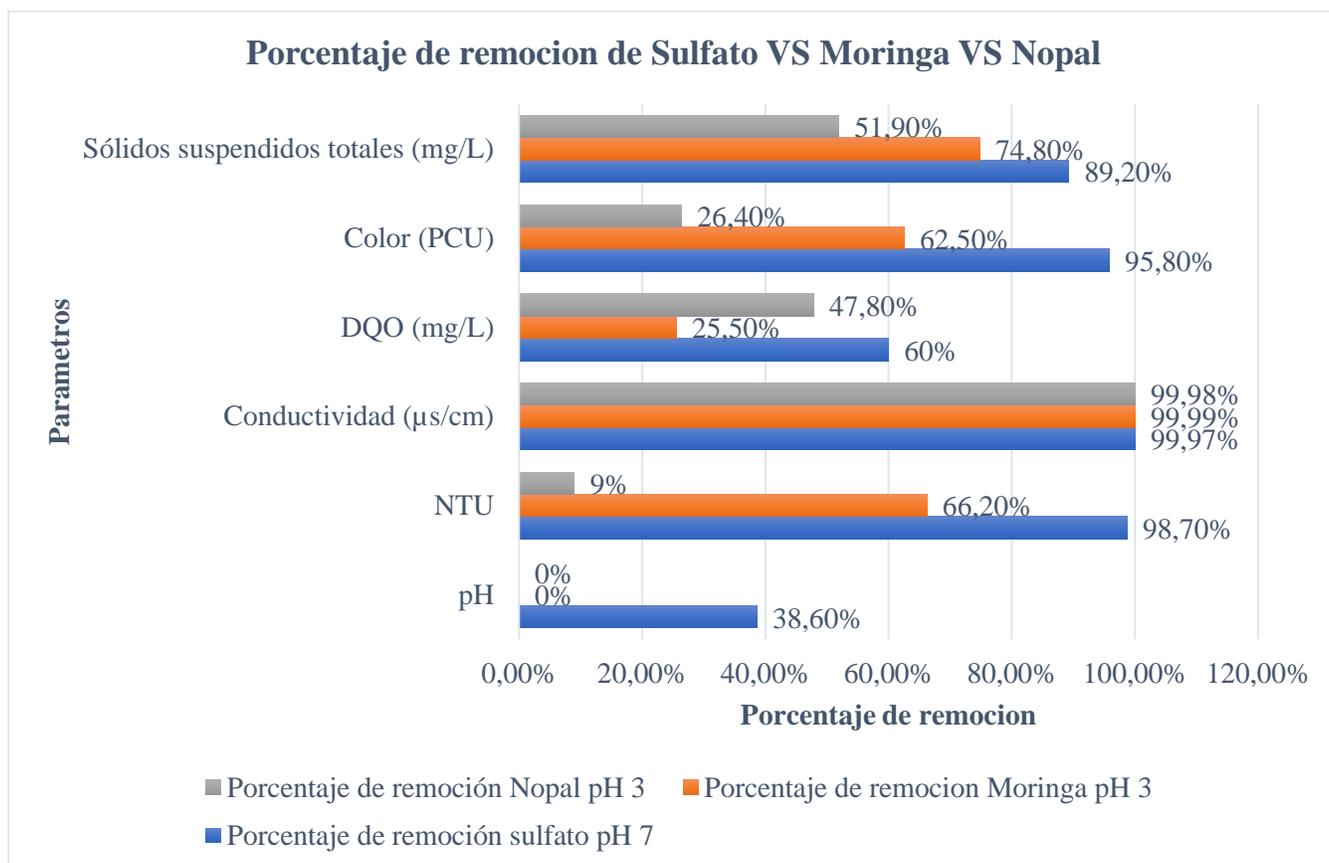


Figura 26. Grafica de remoción para la totalidad de los coagulantes. Fuente: Autores, 2018

De acuerdo con la figura 26, el coagulante de sulfato de aluminio en una dosis de 250 mg/L, presento porcentajes de remoción bastante pronunciados en la totalidad de los parámetros estipulados. En cuanto a los SST, este removió un total de 89,2 %; lo cual puede ser comparable al porcentaje de remoción obtenido por el coagulante de Moringa (66,20%).

En cuanto al color, el coagulante químico obtuvo un porcentaje de remoción del 96%, en contraste al extracto de Moringa, el cual logró un porcentaje de 62,5%.

La remoción de la DQO para el sulfato de aluminio fue ampliamente superior a la evidenciada por el coagulante de Moringa; en donde se obtuvo un porcentaje del 60% y 25,5% respectivamente. En

cuanto a la conductividad ambos coagulantes presentaron similar porcentaje de remoción con un valor de 99.9% para ambos coagulantes.

En cuanto al parámetro de turbidez, el Sulfato de Aluminio logró una remoción del 98,7% superando ampliamente al porcentaje obtenido por el extracto de Moringa; el cual obtuvo un porcentaje de 66,2 %.

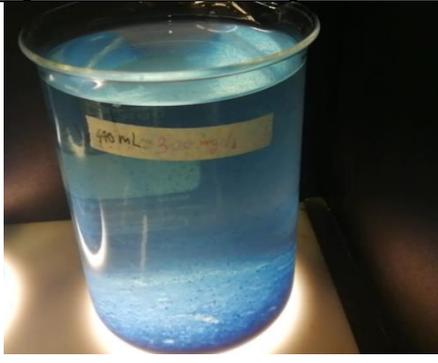
En cuanto al pH, este fue el único parámetro que mostró desventaja para el coagulante de Sulfato de Aluminio, pues este fue el único coagulante que perturbó el pH inicial de la muestra tras la adición de este a la muestra de agua a tratar.

Tabla 50. Ilustraciones agua tratada con sulfato

Antes del tratamiento Sulfato pH 7	Después del tratamiento sulfato pH 7
	

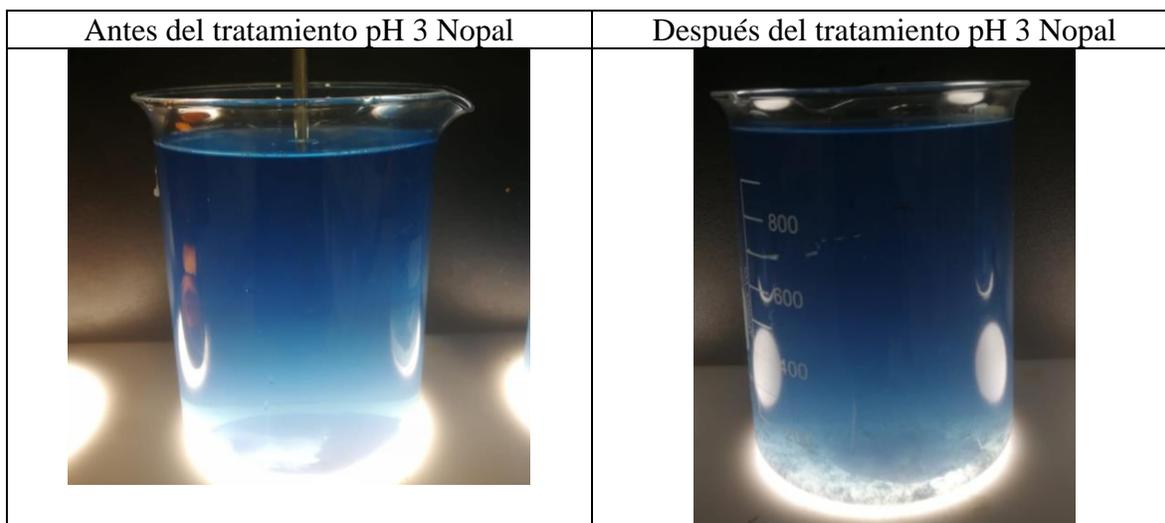
Fuente: Autores, 2018

Tabla 51. Ilustraciones agua tratada moringa

Antes del tratamiento pH 3 Moringa	Después del tratamiento pH 3 Moringa
	

Fuente: Autores, 2018

Tabla 52. Ilustraciones agua tratada nopal



Fuente: Autores, 2018

8.3.4 Resultados de la totalidad de los coagulantes frente a la norma

Tabla 53. Totalidad de los coagulantes frente a la norma

Parámetro	Norma	Iniciales	Cumple	Moringa	Cumple	Nopal	Cumple	Sulfato	Cumple
pH	6 a 9	11.02	NO	3,09	NO	3,1	NO	4,3	NO
NTU	-	87.4	-	29,5	-	79,5	-	1,1	-
Conductividad (µs/cm)	-	1923	-	0.187	-	0,245	-	0,437	-
DQO (mg/L)	400,00	325	SI	391	SI	274	SI	168,7	SI
Color aparente (PCU)	Análisis y reporte	646	-	242	-	475,3	-	27	-
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	50,00	582.5	NO	147	NO	280,1	NO	63	NO
Lodos (mg/L)	-	-	-	214	-	351,5	-	456,3	-
Sólidos sedimentables (ml/L)	2,00	2.95	NO	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autores, 2018

Basándonos en la normativa 631 del 2015 y los resultados presentados en la tabla 53, tanto los parámetros iniciales de la muestra sin tratar, como los tres coagulantes evaluados, cumplen con los máximos permisibles de la norma en cuanto a la DQO; esto quiere decir que, sin importar el coagulante utilizado, los 3 cumplieron con la norma a pesar de la modificación de pH realizada a la muestra para efecto de evaluación de la actividad coagulante en diferentes medios.

Para el pH, la muestra inicial sin tratar no cumplió con la normativa, esto dado a que el pH inicial es demasiado alcalino, además de esto, ninguna muestra tratada con los tres coagulantes cumplió con la normatividad, esto debido a que los coagulantes naturales al presentar mejor remoción en medios ácidos, torna necesario un ajuste de pH de la muestra de agua inicial, lo que traduce a un incumplimiento de los valores permisibles de la norma. Sin embargo, para el Sulfato de Aluminio, tras haber modificado el pH de la muestra agua a neutro, este disminuyó dicho parámetro hasta pH 4, lo cual genera incumplimiento de la norma.

A causa de la falta de máximos permisibles en la normativa en relación con el color, se analizó y reporto los datos de color en la unidad de medida de PCU, en el cual para la muestra inicial el color fue de 646 PCU, según esto, los tres coagulantes lograron una disminución del color, con valores para el nopal de 475,3 PCU, moringa de 242 PCU y sulfato con un valor de 27 PCU, siendo este último el que disminuyo más porcentaje de color.

En cuanto los sólidos suspendidos totales, la muestra inicial no cumplido con la norma ya que el máximo permisible es de 50 mg/L y el de la muestra inicial de 582,5 mg/L. En cuanto a las demás muestras tratadas ningún coagulante alcanzó a ubicarse dentro de los valores permitidos por la norma; en donde el tratamiento de la muestra por medio de los coagulantes naturales no resultaba cercano a los valores señalados, en comparación con el Sulfato de Aluminio que obtuvo un valor final muy cercano.

Los sólidos sedimentables solo fueron medidos en la muestra inicial, en vista de que al adicionar el coagulante, se generan lodos y los sólidos sedimentables son adheridos a los flocs allí formados; por esta razón no fueron medidos los SS para las muestras tratadas de los coagulantes utilizados. El máximo permisible en este parámetro es de 2 mg/L y la muestra inicial genero un valor de 2,95 mg/L lo cual indica que no cumple con la norma.

9. Conclusiones

De los coagulantes naturales investigados se determinó que la mayoría de ellos exceptuando la moringa y el nopal, presentaban desventajas en cuanto a la complejidad tecnológica y al método de extracción ya que estos requerían de conocimiento técnico avanzado, el uso de equipos de laboratorio de no muy fácil acceso y tiempos de preparación muy prolongados.

Según los resultados obtenidos, el tratamiento del agua residual textil mediante el coagulante natural de moringa resulta atractivo, ya que durante el desarrollo de la parte experimental presento una remoción de carga contaminante equiparable al coagulante químico.

El pH influye directamente en la actividad coagulante para los dos extractos naturales, siendo esto más pronunciado en el coagulante de moringa. Entre más ácido fue el medio, se evidenció mayor formación de flocs de buen tamaño y sedimentables.

El nopal no resultó ser un coagulante apropiado para este tipo de aguas ya que los niveles de remoción alcanzados son incipientes, además genera una gran cantidad de biomasa residual, la cual debe gestionarse adecuadamente.

El sulfato de aluminio mostró ventajas sobre los coagulantes naturales, por tanto, para este tipo de aguas es el más apropiado.

10. Recomendaciones

El método de extracción contemplado para la Moringa, al no requerir gran conocimiento técnico y de instrumental de laboratorio, podría ser una alternativa digna de considerarse para el tratamiento de aguas residuales municipales y/o en la potabilización de agua; pues esta es más sencilla de tratar mediante el proceso de coagulación-floculación.

Debido a que el coagulante de Moringa presentó porcentajes de remoción equiparables, relativamente, a los reportados por el tratamiento de la muestra de agua con sulfato de aluminio, sería prudente instalar una fase adicional de tratamiento como lo puede ser un filtro (de membrana) para terminar de remover impurezas presentes en el agua y por ende cumplir con los valores permisibles de la norma.

El extracto de *Moringa Oleífera* presentó una actividad coagulante interesante, lo cual amerita futuras investigaciones que contemplen métodos de extracción que logren aislar el agente coagulante de esta especie vegetal, que, según la teoría, es una proteína catiónica capaz de desestabilizar las cargas de las partículas coloidales. Simultáneamente ahondar en la investigación de distintas especies de este grupo de plantas, *Moringaceae* exactamente, que contengan un mayor contenido proteico en su composición; lo cual puede traducirse en una mayor capacidad de remoción de impurezas en el agua.

Debido a que se encontró que el Nopal (*Opuntia ficus indica*) no presentó una capacidad de remoción comparable a la Moringa, se recomienda contemplar métodos que permitan aprovechar en mayor manera la biomasa del Nopal; para así obtener una mayor presencia del componente activo en el extracto.

La evaluación del pH óptimo se vio limitada por la cantidad de reactivo disponible; y es recomendable contemplar rangos más cortos con el fin de obtener un dato más confiable en cuanto al comportamiento del extracto en una mayor cantidad de niveles de pH.

11. Referencias

- Aguilar, M. (2002). Tratamiento físico-químico de aguas residuales (1st ed.). Murcia: Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones.
- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., & Cruz, R. K. (2018). Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia. *Información tecnológica*, 29(3), 59-70.
- Alvarez, M., Ardila, H., Mosquera, D, El Impacto Ambiental de la Pequeña y Mediana Empresa en los Recursos Hídricos de Colombia, *Agua Latinoamérica*: 1(3), 27-29, (2001).
- APHA, AWWA, & WPCF. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater (21st ed.). Washington, D.C.: American Public Health Association.
- Arango, S., & Ortega, P. Evaluación del extracto de semillas de Moringa oleífera como agente coagulante en el tratamiento de aguas residuales de una industria textil (Proyecto de grado). EAFIT.
- Arcila, H. R., & Peralta, J. J. (2016). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153.
- Asrafuzzaman, M., Fakhrudin, A.N.M., Alamgir Hossain, M., 2011. Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *ISRN Microbiol.* 632189. <http://dx.doi.org/10.5402/2011/632189>.
- Baptista, A. T. A., Silva, M. O., Gomes, R. G., Bergamasco, R., Vieira, M. F., & Vieira, A. M. S. (2017c). Protein fractionation of seeds of moringa oleifera lam and its application in superficial water treatment [doi://doi-org.ezproxy.unbosque.edu.co/10.1016/j.seppur.2017.02.040](http://doi-org.ezproxy.unbosque.edu.co/10.1016/j.seppur.2017.02.040)
- Bogota, A. M. (11 de Noviembre de 2017). *bogota.gov.co*. Obtenido de <http://www.bogota.gov.co/ciudad/ubicacion>
- Bohulav, D. (2005). Coagulation and Flocculation. Boca Raton: Taylor & Francis.
- Bolto, Gregory. (2007). Polielectrolitos orgánicos en el tratamiento de aguas. *Agua Res.*, 41, pp. 2301-2324.
- Bratby, J., 2006. Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment, 2nd ed. IWA Publishing, UK.
- Bravo Gallardo, M. A. (2017). Coagulantes y Floculantes Naturales Usados en la Reducción de Turbidez, Sólidos Suspendidos, Colorantes y Metales Pesados en Aguas Residuales.
- Buenaño Bautista, B. B. (2017). *Estudio de las características coagulantes/floculantes de polímeros orgánicos naturales, extraídos de materiales de desecho alimenticio, para la potabilización del agua* (Bachelor's thesis, Quito, 2017.).

- Caldera, Y., Gutiérrez, E., Fuentes, L., Mendoza, I., Rodríguez, Y., & Sánchez, M. (2015). Quitosano: un coagulante natural alternativo para el tratamiento de aguas con alta turbidez. *REDIELUZ*, 5(1y2).
- Carrasquero, S., Cordero, R., Mas, M., Pardo, A., Marín, J., & Vargas, L. (2014). Eficiencia del quitosano como coagulante en aguas residuales de una industria procesadora de harina. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 48(3).
- Carrasquero, S., Lozano, Y., García, M. E., Camacho, M. J., Rincón, A., & Mas, M. (2015). Eficiencia de las semillas de durazno (*Prunus persica*) como coagulante en la potabilización de aguas. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 49(3).
- Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment (pp. 33). London: IWA publishing
- Delgado Carreño, C. V. (2016). Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos de floculantes naturales y químicos en 3 tipos de agua residual pre y post tratamiento (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias).
- DepartmentT, E. (2011). *Pollution Prevention and Abatement: Textiles Industry*. Washington, D.C: World Bank Group.
- Díaz Claros, J. N. (2014). *Coagulantes-floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas* (Doctoral dissertation).
- EPA U.S. Environmental Protection Agency. (2005). National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas. EPA 841-B-05-004.
- Feria Díaz, J. J., Bermúdez Roa, S., & Estrada Tordecilla, A. M. (2014). Efficiency of Moringa Oleífera seed as a natural coagulant to remove turbidity from Sinú river's water. *Producción+ Limpia*, 9(1), 9-22.
- Garcés Giraldo, L. F., Hernández Ángel, M. L., Peñuela Mesa, G. A., Rodríguez Restrepo, A., & Salazar Palacio, J. A. (2005). Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocatalisis. *Revista Lasallista de investigación*, 2(1).
- García B. 2007. “Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo”, Director: Dr. José Miguel Arnal. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia. 1-103.
- Guardado Pacheco, O. A., & Hernández, A. M. (2017). *Evaluación de la efectividad de floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales provenientes de lavandería industrial, utilizando el Cladodio de Nopal (Opuntía ficus-indica) y la semilla de Tamarindo (Tamarindus-indica)* (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador).
- HAAROFF, J.; CLEASBY, J. Comparing aluminum and iron coagulants for in line filtration of cold waters. *J. Am. Water Works Assoc*, 1988, 80:168-175.
- Hernández, B., Mendoza, I., Salamanca, M., Fuentes, L., & Caldera, Y. (2015). Semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante en aguas con alta turbiedad. *REDIELUZ*, 3(1 y 2).
- Kaushik, P. M. (2009). Fungal dye decolorization: Recent advances and future potential. En *Environmental International* (págs. 127-141). ELSEVIER.

- kienyke. (15 de Marzo de 2017). *kienyke.com*. Obtenido de <https://www.kienyke.com/tendencias/medio-ambiente/la-historia-detras-de-industria-de-la-moda>
- Lédo, P. G., Lima, R. F., Paulo, J., & Duarte, M. A. (2009). Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de Moringa oleífera para la depuración de aguas con baja turbiedad. *Información tecnológica*, 20(5), 3-12.
- Llano, B. A., Cardona, J. F., Ocampo, D., & Ríos, L. A. (2014). Tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcillas y alternativas de uso de los lodos generados en el proceso. *Información tecnológica*, 25(3), 73-82.
- Martínez, A. C., Olivares, C. C., Lozada, A. E., & Ramírez, C. G. (2010). Contaminación generada por colorantes de la industria textil.
- Ndabigengesere, A., & Subba Narasiah, K. (1998). Quality of water treated by coagulation using moringa oleifera seedsdoi://doi-org.ezproxy.unbosque.edu.co/10.1016/S0043-1354(97)00295-9
- Ndabigengesere, A., Narasiah, K. S., & Talbot, B. G. (1995). Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using moringa oleifera doi://doi-org.ezproxy.unbosque.edu.co/10.1016/0043-1354(94)00161-Y
- Nelson L. Nemerow, A. D. (1998). *TRATAMIENTO DE VERTIDOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos, S.A.
- Newcombe, G. (2007). Interface science in drinking water treatment (p. 5). London: Academic Press.
- Nieto C, y Orellana V. 2011. Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante. (Trabajo de grado), Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales: Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. 1-132.
- Osorno, H. A. (2009). *bdigital.unal.edu.co*. Obtenido de http://bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf
- Paz, J., Galvis, R. D., & Agudelo, A. C. (2012). Caracterización de quitina y quitosano obtenidos a partir de residuos de camarón y micelio de *Aspergillus niger*. *Acta Agronómica*, 61(5), 81-82.
- Pinto Guzmán, A. L. (2017). Evaluación y Comparación de la Efectividad del Uso de Floculantes Naturales Aloe Vera (Sábila) y Opuntia Ficus-indica (Nopal/Tuna) y Orgánicos (Ferrocryl® y Chemlok 2040®) en el Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Teñido de la Empresa Franky y Ricky SA.
- Primo Yúfera, E. (1994). Química orgánica básica y aplicada (p. 416). Barcelona: Reverté.
- Pritchard, M., Craven, T., Mkandawire, T., Edmondson, A. S., & O'Neill, J. (2010) G.A comparison between moringa oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water – an alternative sustainable solution for developing countries
- Rafael Enrique Olivero Verbel, Y. d. (2014). Utilización de Tuna (opuntia ficus-indica) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *AVANCES Investigación en Ingeniería Vol. 11*, 70-75.
- Rigola Lapeña, M. (1990). Tratamiento de aguas industriales (pp. 11-13). Barcelona: Marcombo.

- Roberto Hernandez Sampieri, C. f. (2014). *Metodologia de la investigacion* . MCGRAW-HILL.
- Rodríguez Muñoz, S., Muñoz Martínez, R., García Roque, O., & Fernández Santana, E. (2005). Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 36.
- Romero, J. (2002). *Calidad del agua*. (1ra ed.). Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- ROMERO, J., A. (2005). *Calidad del agua*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá, Colombia.
- Sanghi, Bhattacharya, Dixit, Singh, (2006). Ipomoea dasysperma seed gum: an effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions, *J. Environ. Manage.* 81 36–41.
- Sciban M, Klasnja M, Antov M, y Skrbic B. 2009. Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn, *Bioresource Technology*, 100: 6639 – 6643.
- Shak, K.P.Y., Wu, T.Y., (2014). Coagulation-flocculation treatment of high-strength agroindustrial wastewater using natural *Cassia obtusifolia* seed gum: treatment efficiencies and flocs characterization. *Chem. Eng. J.* 256, 293–305
- Sharma, Dhuldhoya, Merchant, (2006). Flocculants—an ecofriendly approach. *J. Polym. Environ.* 14, 195–202.
- Choy, S. Y., Prasad, K. M. N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., & Ramanan, R. N. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of environmental sciences*, 26(11), 2178-2189.
- Swati, M., Govindan, V.S., 2005. Coagulation studies on natural seed extracts. *J. Indian Water Works Assoc.* 37 (2), 145–149.
- Vázquez, R. T., & Montoya, V. H. (2004). Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. *Conciencia Tecnológica*, (25).
- Wu, T.Y., Mohammad, A.W., Lim, S.L., Lim, P.N., Hay, J.X.W., 2013. Recent advances in the reuse of wastewaters for promoting sustainable development. En: Sharma, S.K., Sanghi, R. (Eds.), *Wastewater Reuse and Management*. Springer, Netherlands, pp. 47– 103.
- YIN, C.Y. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochem*, 2010, 45:1437-1444.
- Zambrano, J. (2016). *Prunus persica* COMO COAGULANTE DE MUESTRAS DE AGUA DEL RIO APULO, SECTOR LA AGRONÓMICA, CUNDINAMARCA, COLOMBIA. (Proyecto de grado). Universidad El Bosque